



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

CHLADICÍ JEDNOTKA DOMÁCIHO PIVOVARU

COOLING UNIT FOR HOME BREWERY

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Miroslav Straka

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jiří Hejčík, Ph.D.

BRNO 2016

Zadání diplomové práce

Ústav:	Energetický ústav
Student:	Bc. Miroslav Straka
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Technika prostředí
Vedoucí práce:	Ing. Jiří Hejčík, Ph.D.
Akademický rok:	2015/16

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Chladicí jednotka domácího pivovaru

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Kvalita vyráběného piva závisí kromě surovin také na proces vaření, kvašení a zrání. U piva plzeňského typu jsou poslední dva kroky (kvašení a zrání) spojeny s chlazením vyrobeného piva na poměrně nízké teploty, kterých je možné trvale dosáhnout jenom s využitím chladicího zařízení.

Cíle diplomové práce:

Cílem práce je navrhnout chladicí jednotku pro domácí pivovar, která by byla využitelná jak pro zchlazení mladiny na zákvasnou teplotu, tak také pro udržení teploty v následujících procesech kvašení a zrání piva.

Seznam literatury:

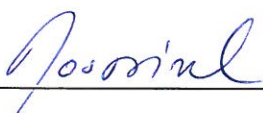
Machač, František. (2014): Uvařte si pivo doma!. Svojtka, Praha.

Basařová, G., Šavel, J., Basař, P., Lejsek, T. (2010): Pivovarství: Teorie a praxe výroby piva. VŠCHT Praha, Praha.

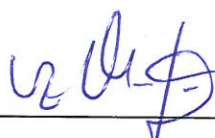
Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16.

V Brně, dne 27 -10- 2015





doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.
ředitel ústavu



doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá problematikou výroby a užití chladu v procesu domácí výroby piva, tzv. homebrewingu. V úvodní části je popsán technologický postup výroby piva, na který navazuje návrh spilky a prostor pro ležení (zrání) piva. Následně je proveden návrh vhodného výrobníku chladu. Celé zařízení je navrženo tak, aby bylo schopno provozu z baterií, popř. fotovoltaického panelu.

KLÍČOVÁ SLOVA

chlazení, chladicí zařízení, domácí pivovar, vaření piva, spilka, komponenty chladicího okruhu

ABSTRACT

This diploma thesis deals with producing and using low temperatures in home brewing processes. The introductory part describes technological process of brewing beer, followed by a design of a primary fermentation vessel and next an aging vessel. In the next step a suitable wort chiller is designed. All the equipment is designed to be able to run on batteries or a solar photovoltaic panel.

KEYWORDS

Cooling, cooling unit, home brewery, beer brewing, fermenting cellar, components of the cooling circuit

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

STRAKA, M. *Chladicí jednotka domácího pivovaru*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 60 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Jiří Hejčík, PhD.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Jiřího Hejčíka, Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 27. května 2016

.....

Bc. Miroslav Straka

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval panu Ing. Jiřímu Hejčíkovy, Ph.D. za cenné rady a připomínky při vypracovávání diplomové práce.

OBSAH

Úvod	9
1 Výroba piva	10
1.1 Historie piva.....	10
1.2 Suroviny potřebné k výrobě piva.....	10
1.2.1 Voda	10
1.2.2 Slad	10
1.2.3 Chmel	11
1.2.4 Pivovarské kvasinky	12
1.3 Druhy vyráběných piv	13
1.4 Výrobní postupy výroby piva	13
1.4.1 Vystírání	14
1.4.2 Rmutování	14
1.4.3 Scezování sladiny a vyslazování mláta	16
1.4.4 Chmelovar	16
1.4.5 Zchlazení mladiny	16
1.4.6 Hlavní kvašení	17
1.4.7 Dokvašování a zrání piva	18
2 Chladicí zařízení	19
2.1 Historie chlazení ve výrobě piv	19
2.2 Chladicí zařízení	20
2.2.1 Kompresorové chlazení	20
2.2.2 Absorpční chlazení	20
2.2.3 Další možnosti strojního chlazení.....	21
3 Návrh zařízení pivovaru	23
3.1 Chladič mladiny	24
3.1.1 Výpočet výměníku.....	24
3.2 Akumulační nádrž	28
3.2.1 Tepelná zátěž akumulační nádrže.....	29
3.3 Spilka	29
3.3.1 Výpočet tepelné zátěže spilky	30
3.4 Volba vzduchového chladiče	36
3.5 Prostor zrání piva	36
3.5.1 Výpočet tepelné zátěže zracího prostoru	37
3.6 Cirkulační čerpadlo	43
4 Návrh chladicího okruhu	44

4.1	Komponenty chladicího okruhu	44
4.1.1	Kondenzační jednotka	44
4.1.2	Chladivo	45
4.1.3	Výparník	47
4.1.4	Expanzní ventil	47
4.2	Další komponenty chladicího okruhu	49
4.2.1	Filtrdehydrátor	49
4.2.2	Průhledítko	49
4.2.3	Solenoid	50
4.2.4	Presostat	50
4.2.5	Sběrač chladiva	50
4.2.6	Termostat pro akumulární nádrž	51
4.3	Schéma chladicího okruhu	51
5	Návrh fotovoltaického systému	52
	Závěr	54
	Seznam použitých zkratk a symbolů	57

ÚVOD

Vaření piva má v českých zemích velice dlouhou tradici a Češi jsou celosvětově známi jako národ pivařů. Tento náš kladný vztah k pivu krásně vyjádřil básník Jan Neruda ve svém citátu:

„Český duch může sice na čas bloudit, rozmach mohutného jeho křídla může ho zanést někdy třeba až na kraj světa, ale k pivu vrátí on se najisto vždycky zase!“

Jan Neruda, český básník a prozaik

Ovšem ještě v nedávné době se veškerá produkce soustředila ve velkých pivovarech a vznikala tak piva si navzájem velice podobná, nevýrazná. Toto průmyslové vaření piva si klade jako svůj prvořadý cíl efektivitu výroby, což je bohužel na úkor kvality a chuti. Z tohoto důvodu se lidé začali věnovat takzvanému homebrewingu, což by se dalo volně přeložit jako „domovnictví“ nebo domácí vaření piva. A tak začaly vznikat minipivovary nebo také mikropivovary. Hlavní myšlenkou těchto pivovarů je návrat k tradicím pivovarnictví [1].

Hlavními faktory ovlivňujícími výsledný produkt je výběr kvalitních surovin a dále dodržení technologických postupů při jejich zpracovávání. U těchto postupů je důležité přesné dodržování teplot, při kterých se v první fázi teplo do procesu musí přivádět a médium ohřívat až k teplotě varu, poté následuje zchlazení produktu na zákvasnou teplotu, která závisí na druhu použitých kvasinek, zde probíhá takzvané hlavní kvašení, až k chlazení ve zracích tancích, kde se teplota pohybuje okolo bodu mrazu. Zatímco var probíhá v řádu hodin, kvašení a zrání tedy chlazení, probíhá desítky dnů až měsíce a je proto energeticky nejnáročnějším procesem při výrobě piva.

Cílem práce je provést návrh chladicího zařízení domácího minipivovaru. Konkrétně navrhnout konstrukci spilky, což je chlazená otevřená nádoba, ve které probíhá hlavní kvašení mladiny a dále ležáckého sudu ve kterém mladé pivo dozrává. Dalším bodem práce bude zhodnocení možnosti použití solárních systémů pro chlazení.

1 VÝROBA PIVA

Pivo je slabý alkoholický nápoj, který vznikne povařením cukernatého roztoku s chmelem a následným kvašením vybraným kmenem pivovarských kvasinek za dodržení technologicky stanovených teplot, doby zrání a ležení [2].

1.1 HISTORIE PIVA

Pivovarnictví patří mezi nejstarší obory lidské činnosti. Již nejméně 7 000 let před naším letopočtem se v Mezopotámii, v oblasti takzvaného úrodného půlměsíce mezi řekami Eufratem a Tigridem, pěstovali různé obiloviny (ječmen, pšenice, proso), které sloužili k přípravě chleba a pravděpodobně i kvašených nápojů. O pivě se zmiňuje i král Chamurappi ve svém zákoníku, kde se mimo jiné zmiňuje o čepování a podávání piva a také uvádí, že hrozí trest smrti tomu, kdo bude prodávat špatné či šizené pivo. Stejnou úlohu hrálo pivo i ve starověkém Egyptě, kde bylo podle dostupných údajů hned po vodě a mléku nejrozšířenějším nápojem. Tato piva ovšem měla jen málo společného s těmi dnešními, některá hustá piva se dokonce nepovažovala za nápoj ale za hutný pokrm.

Jako první na našem území pivo vařili Keltové, které nazývali *korma*. První písemná zmínka o výrobě piva na našem území pochází z roku 993, kdy první pražský biskup Vojtěch vysvětil klášter v Břevnově, ve kterém se vyrábělo pivo a víno. Pivo postupem času procházelo různými obměnami procesů výroby, použitých surovin atp. Za to, jak ho známe dnes, vděčíme dlouhému vývoji a jménům jako L. Pasteur, A. Lavoisier, Gay-Lussac, Buchner, F. O. Poupě (český reformátor pivovarnictví) a mnoha dalším [1, 3].

1.2 SUROVINY POTŘEBNÉ K VÝROBĚ PIVA

1.2.1 VODA

Spotřeba vody v pivovarech je obrovská a řadí se mezi průmyslová odvětví, které ji spotřebovávají nejvíce. Voda se využívá v samotném procesu vaření, mytí a sterilizaci varných a kvasných nádob a také jako chladivo atd.

Voda v pivě představuje 75 až 80 % hmotnosti, proto jako jedna ze základních surovin pro přípravu, musí svými vlastnostmi splňovat požadavky na pitnou vodu, především z hlediska zdravotní a hygienické nezávadnosti. V pivovarech se používala nejčastěji voda studniční, která dnes ovšem nevyhovuje jak svou nezávadností, tak svými zásobami. Proto se používá voda z vodovodních řádů, která u nás dosahuje vysokých kvalit. V pivovarnictví je také důležitá tvrdost vody, která udává obsah rozpuštěných solí, především vápníku a hořčíku. K výrobě piva se více hodí voda měkká až středně tvrdá, a každý pivovar si ji upravuje podle vlastních potřeb [1, 3].

1.2.2 SLAD

Nejpoužívanější obilovina pro výrobu sladu je sladovnický ječmen, v menší míře se také používá pšenice pro výrobu piva pšeničného dále kukuřice, proso, tritcale (kříženec pšenice a žita). V dřívějších dobách se používal i oves setý, který se přestal používat v 17. století. Původně si slad vyráběl každý pivovar sám. S nástupem průmyslové výroby v 19. století se produkce sladu přesunula do takzvaných sladoven, které slad prodávali nejen domácím pivovarům, ale vyváželi ho do celého světa.

Slad vznikne tak, že se nejprve obilovina namáčí v tzv. náduvníku. Z původních 12 až 15 % je obsah vody v zrně zvyšován na 42 až 48 %. Při tomto procesu se také zrna oplachuje a zbavuje nečistot. Po namočení se tato vlhká obilovina rozprostře v takzvaných humnech, ve vrstvě okolo 10 cm, a vyklíčí. Zrna se pravidelně mechanicky obrací, tato fáze trvá 6 až 8 dní. Prostor humen je trvale udržován při teplotách blízkých 10 °C a relativní vlhkosti okolo 90 %, důležité je také snížení přísunu denního světla. Po vyklíčení následuje takzvané hvozdnění neboli sušení sladu. Cílem hvozdnění je snížení obsahu vody v zrně až na hodnoty okolo 4 %, ukončení činnosti enzymů a zastavení všech vegetačních procesů, především klíčení. Hvozdnění má na výslednou kvalitu sladu velký vliv, protože se při něm ovlivňuje výsledná barva, chuť a vůně sladu a tedy i piva. Podle druhu piva (světlé, tmavé, speciální), které chceme vařit, volíme teplotu, dobu sušení apod. Poslední fází hvozdnění je odstranění zbylých klíčků, vyrostlých na zrně při procesu klíčení, na takzvané odkličovače.

Mezi u nás nejpoužívanější druhy sladu patří především Český světlý plzeňský poté Vídeňský, Bavorský, Pšeničný a druhy speciální jako slad karamelový, nakuřovaný, barvicí a další [1, 3, 4].



Obr. 1 Humna sladovny [4]

1.2.3 CHMEL

Celý název této rostliny je Chmel otáčivý (*Humulus lupulus*). Je to vytrvalá dvoudomá pravotočivá liána z čeledi konopovitých. Do této čeledi patří i konopí (*canabis*), z kterého se vyrábí nejen provazy a lana ale také hašíš a marihuana.

Chmel se od pradávna používal v lékařství a k ochucování piva ho začali používat Slované, již v období 1. tisíciletí před naším letopočtem. Pro vlastní výrobu piva je používán především kvůli svému obsahu pryskyřic (lupulin), které jsou nositeli hořkosti. K ochucování piva se



používají pouze šišťice ze samičích rostlin. Tyto šišťice jsou dále upravovány a to buď usušením a slisováním do malých pelet nebo jejich vyluhováním, po kterém vznikne takzvaný chmelový extrakt. Neupravené šišťice chmelu se dnes v pivovarnictví využívají jen ojediněle.

U nás se pěstuje především československá odrůda Žatecký poloraný červeňák (obr. 2), která je známa po celém světě a je typická svou jemnou chmelovou vůní. Další jsou např. odrůda Sládek a Premiant. Tyto odrůdy se pěstují v chmelařských oblastech Žatecka, Úštěcka (okolí města Ústěk) a Tršicka [1, 3].

Obr. 2 Žatecký poloraný červeňák [5]

1.2.4 PIVOVARSKÉ KVASINKY

Hlavní úlohou kvasinek při výrobě piva, je přeměna zkvasitelných cukrů na alkohol (etanol) a oxid uhličitý. Pro tyto účely se dnes v podstatě používají dva druhy kvasinek a to pro svrchní (*Saccharomyces cerevisiae*) a spodní kvašení (*Saccharomyces carlsbergensis*). Existuje ještě kvašení spontánní, při kterém se využívají tzv. kvasinky divoké tedy takové, které se pohybují volně v atmosféře. Tento proces je spíše historický a dnes se uplatňuje pouze ojediněle. Rozdíl mezi svrchním a spodním kvašením je hlavně v teplotách, při kterých probíhá kvasný



proces. Kvasinky pro svrchní kvašení kvasí při teplotách okolo 18 až 24 °C, a při kvašení ulpívají na hladině a vytváří typickou kvasničnou deku, zatímco pro spodní kvasinky je typická kvasná teplota 7 až 15 °C se sedimentací kvasnic na dně nádoby. Spodní kvašení se uplatňuje při výrobě piv tzv. plzeňského typu což je valná většina světových piv [1, 3].

Obr. 3 Kvasničná deka vytvořená na povrchu svrchně kvašeného piva - pivovar Lucky Bastard

1.3 DRUHY VYRÁBĚNÝCH PIV

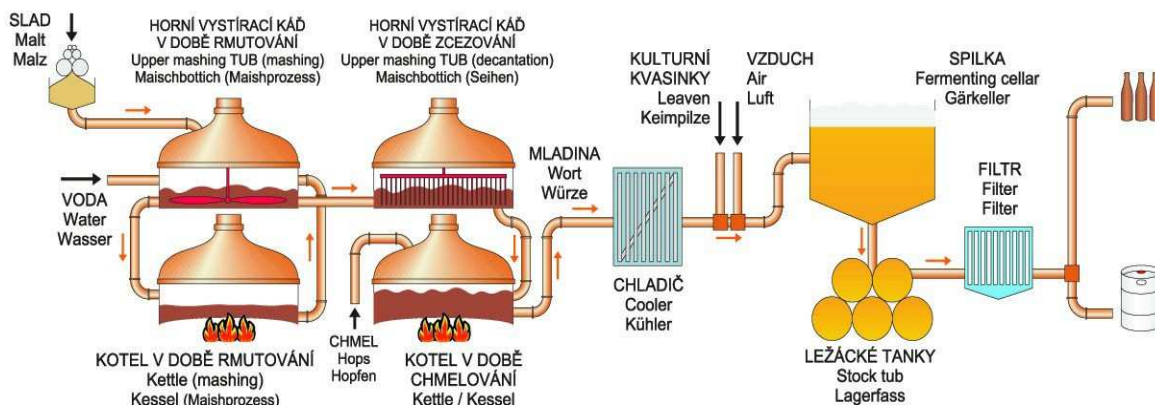
[3] Piva se mohou dělit podle různých kritérií a po celém světě se vyrábí nespočet různých variant a kombinací. Proto se zaměřím jen na základní rozdělení a to na dělení:

- **podle barvy:**
 - světlá
 - tmavá
 - polotmavá
 - řezaná
- **podle extraktu v původní mladině (dále jen EPM) a obsahu alkoholu:**
 - lehká piva (do 7,99 % EPM)
 - výčepní piva (8 až 10 % EPM)
 - ležáky (11 až 12,99 % EPM)
 - speciální piva (nad 13 % EPM)
 - portery-tmavá (min. 18 % EPM)
 - piva se sníženým obsahem alkoholu (nejvýše 1,2 % obj. etanolu)
 - nealkoholická piva (nejvýše 0,5 % obj.)
 - piva se sníženým obsahem cukrů (nejvýše 7,5 g/l)
 - pšeničná piva (více než jedna třetina extraktu pochází z pšeničného sladu)
 - kvasnicové pivo
 - ochucená piva
- **podle způsobu kvašení:**
 - Spontánně kvašená (Lambik, Gueuze)
 - Svrchně kvašená (pšeničná piva, Ale, Stout, Porter, Německá a Francouzská svrchně kvašená piva)
 - Spodně kvašená (Ležáky: Pilsener, Lager, Vídeňský, Březňák, Mnichovské...)

1.4 VÝROBNÍ POSTUPY VÝROBY PIVA

Jak bylo uvedeno v předchozí kapitole, druhů piv je velice mnoho a stejně tak postupů, jak je uvařit. Ve zbytku této práce se zaměřím pouze na jeden druh piva a to na, u nás jednoznačně nejrozšířenější, spodně kvašený ležák plzeňského typu.

Technologie vaření piva Poutník



Obr. 4 Postup výroby piva Poutník [6]

1.4.1 VYSTÍRÁNÍ

Prvním krokem při vaření piva je takzvaná vystírka. Při tomto procesu se smísí ve vystírací kádi rozemletý slad (sypání) s hlavním nálevem vody. Hlavním nálevem se rozumí voda ohřátá na 35 až 38 °C (kyselinotvorná teplota) o objemu závislejícím na vypočteném množství nálevu. Při této teplotě rozemleté části sladového zrna změknou a částečně se rozpustí. Následuje zapáčka, kdy se tato směs ohřeje na teplotu 50 až 52 °C (peptonizační teplota). U světlých piv je přibližná dávka nálevu 5 až 6 litrů vody na 1 kg sypání.

Ve větších pivovarech se hlavní nálev rozdělí do dvou podílů. První podíl o teplotě 35 až 38 °C se smíchá se sypáním. Následuje zapáčka, kdy se druhý podíl vody ohřeje na teplotu 80 °C a přilije se do vystírky. Výsledná teplota směsi musí být opět 50 až 52 °C. V obou případech je doba vystírky 15 až 20 minut a to samé platí pro zapáčku. Celková doba vystírání se tedy pohybuje okolo 35 minut.

Celý proces vystírání musí provázet intenzivní míchání, kvůli dobrému promíchání vody se sladem [1, 3].

1.4.2 RMUTOVÁNÍ

Hlavním cílem rmutování je přeměna škrobů, obsažených ve sladu, na zkvasitelné sacharidy (cukry) za pomoci sladových enzymů, při čemž je vytvářen základní chuťový charakter piva. Tohoto se docílí především dodržováním technologických teplot, při kterých jsou optimálně aktivní určité enzymy sladu. Mezi tyto teploty patří nižší cukrotvorná teplota (60 až 65 °C), vyšší cukrotvorná teplota (70 až 75 °C) a odrmutovací teplota (76 až 78 °C). Výsledný produkt pro rmutování se nazývá sladina. Rmutování může být dekokční nebo infuzní.



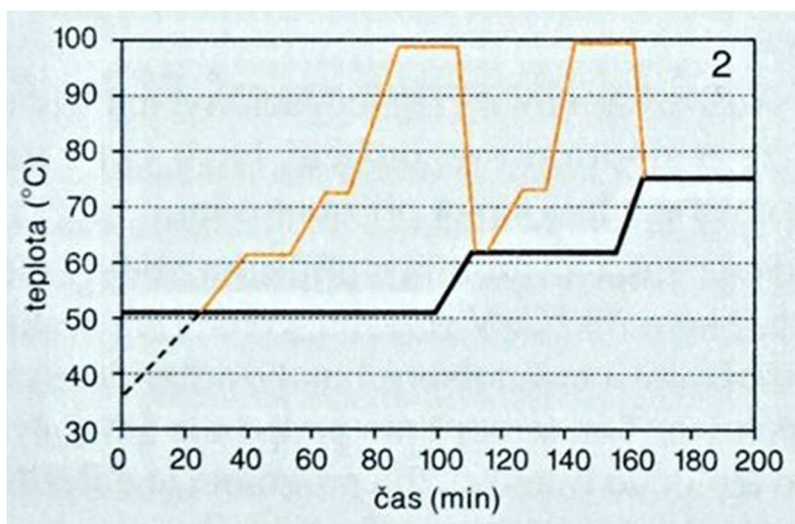
Obr. 5 Vystírací a rmutovací nádoba - minipivovar Lucky Bastard

DEKOKČNÍ RMUTOVÁNÍ

Tento způsob rmutování se dále dělí na jednormutový, dvourmutový a třírmutový přičemž pro piva plzeňského typu je nejvhodnější postup dvourmutový, který zde popíši.

Dvourmutový postup:

První rmut: Do rmutovací nádoby se přečerpá cca jedna třetina z celkového objemu dila z vystírací kádě o teplotě 50 až 52 °C. Zde ohříváme na teplotu okolo 63 °C a udržujeme 10 až 20 minut. Po této prodlevě dále zvyšujeme teplotu na 72 až 74 °C. Na této teplotě zůstáváme 5 až 10 minut a následně co nejrychleji uvedeme do varu a vaříme 15 až 20 minut. Po varu pomalu přečerpáváme povařený rmut zpět do vystírací pánve a míšíme se zbytkem dila, který jsme si na začátku oddělili. Teplota by měla být 62 až 64 °C.



Obr. 6 Průběh teplot v závislosti na čase u dvourmutového postupu. Černá křivka - průběh teplot ve vystírací nádobě, oranžová křivka - průběh teplot ve rmutovací pánvi [3].

Druhý rmut: Do rmutovací nádoby opět přečerpáme asi třetinu dila. Tento díl ohříváme na teplotu 72 až 74 °C a ponecháme ho při této teplotě 25 minut. Po té opět přivedeme k varu a vaříme 10 minut. Po varu vracíme považené dílo zpět do vystírací nádoby. Po smíšení by měla být teplota 76 °C (odrmutovací teplota).

Celková doba rmutování se

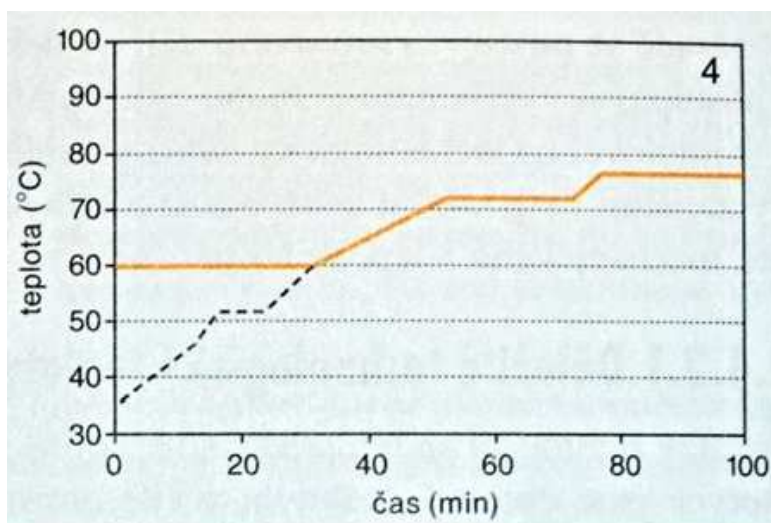
pohybuje od 200 do 215 minut. Při celém procesu je nutné intenzivní míchání dila. Jednotlivé ohřevy by neměly překročit teplotní gradient 1

maximálně $1,2 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$.

INFUZNÍ RMUTOVÁNÍ

Toto rmutování začíná vystírkou na teplotě 38 °C, 15 až 20 minut. Dále ohříváme na teplotu 52 °C s prodlevou 20 až 25 minut, po té na teplotu 63 °C a necháme 30 minut v klidu.

V poslední fázi ohřejeme až na 72 °C a necháme opět 30 minut. Na konec zvýšíme na teplotu odrmutovací 76 °C a necháme 20 minut.



Obr. 7 Průběh teplot v závislosti na čase u infuzního rmutování. Oranžová křivka - průběh teplot ve rmutovací pánvi, čárkovaná křivka - teplé vystírání [3].

Výhodou infuzního rmutování je jeho jednoduchost, kratší doba rmutování (přibližně 180 minut), menší energetická náročnost a celý proces se může realizovat pouze s jednou nádobou. Tento princip je ovšem vhodnější pro svrchně kvašená a nízkoalkoholická piva. Pro

výrobu ležáků se infuzní metoda kombinuje s dekokčními procesy [1, 3].

1.4.3 SCEZOVÁNÍ SLADINY A VYSLAZOVÁNÍ MLÁTA

Sladina po rmutování obsahuje mnoho kalů a pevných sladových částic, které jsou v dalším procesu výroby piva nežádoucí. „Cílem scezování je získat čistou sladinu a maximum extraktu, který do procesu přinesly suroviny.“ [3]

Před samotným procesem scezování se dílo nechá odpočívat, aby pevné částice obsažené ve sladině sedimentovaly u dna scezovací nádoby a vytvořili tak filtrační vrstvu. Přes tuto vrstvu se poté nechá sladina přefiltrovat. Jelikož tato filtrační vrstva obsahuje stále mnoho využitelných látek, následuje po scezování takzvané vyslazování. To se provádí propláchnutím zbytků vodou o teplotě 75 až 78 °C. Zbytkům, které zůstaly po předchozích procesech, na dně scezovací kádě se říká mláto. Mláto má všestranné využití. Používá se v pekařských výrobcích, jako krmení pro dobytek, ve stavebnictví, v energetice jako palivo do bioplynových stanic a další [3].

1.4.4 CHMELOVAR

Dalším krokem je povaření scezené sladiny s chmelem. Cílem tohoto procesu je rozpuštění hořkých látek, obsažených v chmelu, do sladiny a odpaření přebytečné vody ze sladiny k docílení požadovaného obsahu extraktu (viz odstavec Druhy vyráběných piv). Výslednému produktu po chmelovaru se říká mladina.

Chmelovar provedeme tak, že si spočítanou dávku chmele rozdělíme na třetiny. Přivedeme sladinu k varu a přidáváme postupně chmel. První třetinu chmele po deseti minutách, druhou po 45 minutách od začátku varu a poslední přidáme 10 minut před ukončením varu.

1.4.5 ZCHLAZENÍ MLADINY

Následující procesy výroby spodně kvašených piv probíhají za nízkých teplot a vyžadují tedy použití chladicí technologie. Prvním z nich je zchlazení mladiny na zákvasnou teplotu.

Jelikož se teplota mladiny po chmelovaru pohybuje okolo 100 °C je nutné ji zchladit na teplotu, ve které dokáží přežít drobné organismy takzvané pivovarské kvasinky. Tato teplota se pohybuje okolo 7°C až 12 °C. Zároveň se při vysokých teplotách zvyšuje riziko kontaminace mladiny infekcemi a je tedy nutné mladinu zchladit co nejrychleji. Zchlazování mladiny by nemělo trvat déle jak dvě hodiny. Rychlé zchlazení mladiny má také dobrý vliv na výslednou chuť piva. Před samotným chlazením je nutné zbavit mladinu hrubých kalů, které v ní zůstaly po chmelovaru, a později by způsobovali problémy při kvašení. Dříve se tak dělo na takzvaných chladicích štocích, kde se mladina rozprostřela do vrstvy okolo 20 cm, a hrubé kaly sedimentovaly u dna. Horká mladina se prouděním okolního studenějšího vzduchu pomalu ochlazovala. Z důvodu velkého rizika znečištění mladiny se dnes nejčastěji



Obr. 8 Deskové výměníky firmy Alfa Laval [7]

používají vířivé kádě. V této kádi se mladina roztočí a hrubé kaly se usadí ve středu této nádoby.

Po pročištění se mladina pomalu přečerpává přes tepelný výměník do kvasné nádoby takzvané spilky. Nejčastěji se pro ochlazení mladiny využívají deskové výměníky. Při využití deskového výměníku se musí zchlazená mladina provzdušnit kyslíkem, který je nezbytný pro správný proces kvašení. Optimální obsah kyslíku v mladině se pohybuje okolo 6 až 10 mg·l⁻¹ [1, 2, 3].

1.4.6 HLAVNÍ KVAŠENÍ

Cílem hlavního kvašení je neúplná přeměna extraktu (z kvasitelných cukrů) na alkohol a oxid uhličitý (neúplná, protože část extraktu potřebujeme zachovat pro další procesy zrání piva). O tuto přeměnu se starají pivovarské kvasnice (viz odstavec 1.2.4), které se do procesu přidávají ihned po zchlazení mladiny. Hlavní kvašení probíhá ve spilce při teplotě 7 °C. Jedním z projevů hlavního kvašení je nežádoucí vývin tepla, které se musí odvádět.

Spilka je otevřená nádoba a je nejčastěji vyráběna z nerezavějící oceli. Dříve se používali spilky z dubového nebo modřínového dřeva.

Chlazení spilky může být zajištěno, buď přímým chlazením vzduchu v místnosti (Obr. 9) anebo vnitřním chlazením kvasných kádí (výměníky tepla přímo ve spilce). Doba trvání hlavního kvašení se pohybuje mezi 7 až 12 dny v závislosti na prokvašení. Po celou dobu kvašení se na povrchu hladiny tvoří pěna, kterou je nutné sbírat a zabránit tak jejímu rozpuštění v kvasící mladině. Po skončení hlavního kvašení se výslednému produktu říká mladé pivo [1, 2, 3].



Obr. 9 Spilky pivovaru Nymburk (u stropu místnosti je možné si povšimnout žebrovaných trubek sloužících k vychlazení prostoru spilek).

1.4.7 DOKVAŠOVÁNÍ A ZRÁNÍ PIVA

Při dozrávání se pivo sytí oxidem uhličitým, který vzniká kvašením zbylého extraktu v mladém pivu. Dále se dotváří chuť a barva výsledného produktu. Zrání probíhá za mírného přetlaku při teplotě okolo 2 °C.

Po hlavním kvašení se mladé pivo přečerpá do ležáckých tanků a velice pozvolna se ochladí na požadovanou teplotu. Jako v předchozím případě se dříve využívaly dřevěné sudy. Ve velkých pivovarech se dnes jako ležácké nádoby využívají především takzvané cylindrokónické tanky. V menším měřítku se používají KEG sudy, plastové nebo skleněné láhve apod. Doba zrání piva se pohybuje okolo 4 až 6 týdnů někdy až 70 dnů.

Po uplynutí této doby je proces výroby piva ukončen a pivo je možné ihned konzumovat. Někdy se pivo ještě filtruje od zbylých kvasinek a kalů. Aby se pivu prodloužila doba trvanlivosti, zařazuje se po filtraci také proces pasterizace. Tímto se ovšem ztrácí původní chuť piva a je tedy v zájmu pivovarů tento proces minimalizovat nebo úplně vynechat.

2 CHLADICÍ ZAŘÍZENÍ

2.1 HISTORIE CHLAZENÍ VE VÝROBĚ PIV

Se začátkem výroby spodně kvašených piv vyvstala v pivovarech potřeba chladu kvůli teplotám, které tento proces vyžaduje. Dlouhou dobu se používal přírodní led natěžený v zimních měsících na zamrzlých vodních plochách a tocích viz obr. 10. Led se nalámal na menší kusy a skladoval se v prostorách přiléhajícím k ležáckým sklepům, které tímto ochlazoval. Led se poté zasypal popelem nebo jiným izolačním materiálem. Ledu muselo být natěženo velké množství, aby vydržel i přes teplá letní období. Velkých změn se pivovarský průmysl dočkal až s vynálezem chladicího zařízení Carla von Lindeho. Těžba ledu ovšem neustala a například v Praze se led z Vltavy těžil ještě v polovině dvacátého století, kdy po výstavbě Slapské přehrady přestala zamrzat [2].

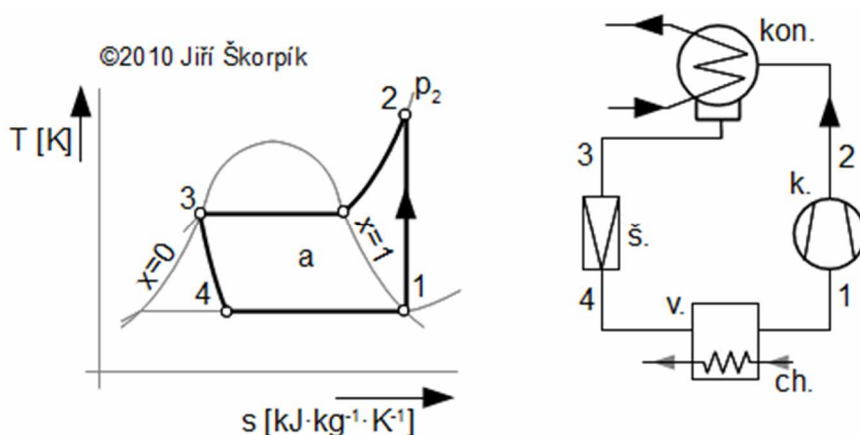


Obr. 10 Získávání ledu z koryta řeky Vltavy někdy okolo roku 1905 [8]

2.2 CHLADICÍ ZAŘÍZENÍ

2.2.1 KOMPRESOROVÉ CHLAZENÍ

Jedná se bezesporu o nejpoužívanější systémy k získávání chladu. Pracují na principu odpařování chladiva z výparníku, čímž dochází k ochlazení chlazeného média či prostoru. Aby se chladivo odpařilo, je nutné snižovat tlak ve výparníku. Toto se děje pomocí kompresoru. Páry chladiva po průchodu kompresorem dále pokračují do kondenzátoru, kde zkapalní a odevzdají teplo do okolí. Následně toto zkapalněné chladivo pokračuje přes expanzní ventil zpět do výparníku a celý proces se stále cyklicky opakuje (viz obr. 11). Toto je stručný popis nejjednoduššího jednostupňového chladicího oběhu s kompresorem.



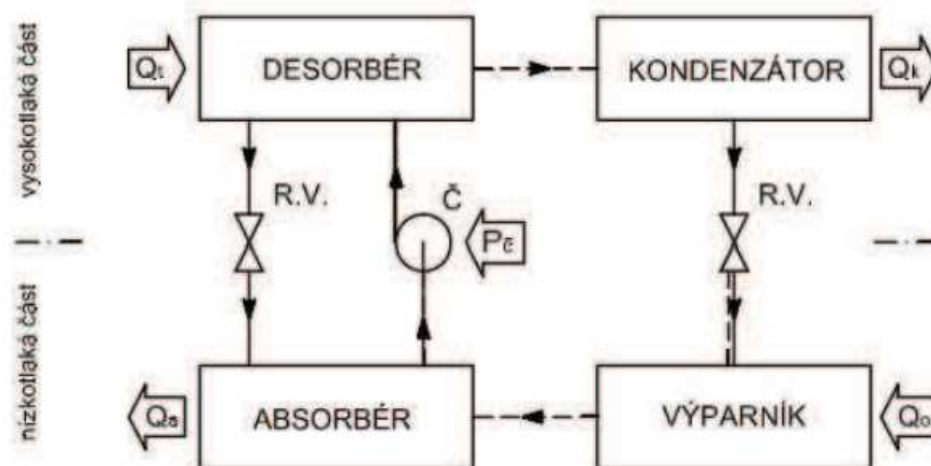
Obr. 11 Graf závislosti teploty (T) na entropii (s) chladiva ideálního jednostupňového chladicího oběhu (R-C oběh) a schéma zařízení. 1-2 komprese, 2-3 kondenzace par chladiva, 3-4 expanze chladiva ze stavu syté kapaliny do oblasti mokré páry, 4-1 odpar chladiva do oblasti syté páry, k-kompresor, ch-chladič (výparník), š-expanzní (škrťací) ventil, kon.-kondenzátor [9].

Při velkém rozdílu výparného a kondenzačního tlaku, který bývá nejčastěji spojen s požadavkem nízké výparné teploty ve výparníku, bývá komprese rozdělena do dvou i více stupňů. [11, 12]

2.2.2 ABSORPČNÍ CHLAZENÍ

Tento systém chlazení je vhodný tam, kde je k dispozici levná nebo odpadní tepelná energie. Nejčastěji se využívá v trigeneračních jednotkách, v kombinaci s tepelným čerpadlem nebo při využití solárního chlazení. Princip funkce je založen na oběhu chladiva a absorbentu. Nejčastěji se vyskytující dvojice chladivo - absorbent jsou čpavek – voda a voda – bromid lithný.

Jako u předešlého způsobu chlazení zde dochází k odparu chladiva ve výparníku, ve kterém teplo potřebné k odparu je odebíráno z okolí výparníku a tím je chlazen. Syté páry chladiva pokračují do absorbéru, kde jsou pohlceny absorbentem a vzniká tak bohatá směs. Při absorpci chladiva do absorbentu vzniká teplo, které je nutné odvést. Bohatá kapalina je čerpadlem čerpána z oblasti nízkého tlaku do desorbéru, který se nachází ve vysokotlaké oblasti. Přívodem tepla do desorbéru se začne z bohaté směsi destilovat chladivo. Oddestilováním chladiva z bohaté směsi vznikne chudá směs, což je směs absorbentu s malým množstvím chladiva. Chudá směs se vrací přes škrťací ventil do absorbéru. Syté páry chladiva odpařené v desorbéru pokračují do kondenzátoru, kde odebráním tepla zkapalní. Přes škrťací ventil se zkapalněné chladivo dostává do oblasti s nízkým tlakem do výparníku a tento



Obr. 12 Blokové schéma absorpčního oběhu [10]

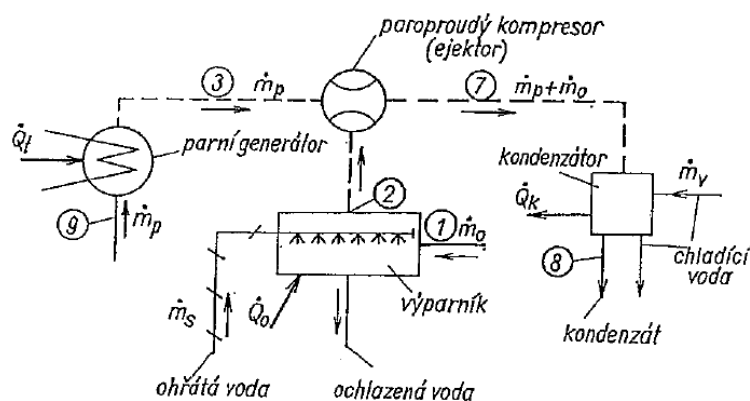
proces se opět cyklicky opakuje (viz obr. 12). Příkon čerpadla většinou nedosahuje ani 5 % přiváděného tepelného výkonu do desorbéru a ve výpočtech absorpčního chlazení se dokonce zanedbává. Toto je hlavní rozdíl oproti kompresorovému chlazení, ve kterém je příkon kompresoru hlavní energetickou ztrátou.

Absorpční oběh může být realizován i zcela bez použití čerpadla a nazývá se difúzní oběh. Do oběhu je přidán ke čpavku (chladiivo) a vodě (absorbent) ještě inertní plyn vodík. Difúzní oběh se zejména využívá v malých domácích chladničkách. [11, 12]

2.2.3 DALŠÍ MOŽNOSTI STROJNÍHO CHLAZENÍ

PLYNOVÝ OBĚH

V těchto obězích zpravidla nedochází ke skupenským změnám a jako chladivo se používá plyn, nejčastěji vzduch. Chlazení je založeno na principu využití ochlazeného plynu po adiabatické expanzi. Z důvodu nižšího chladicího faktoru, oproti systémům s odparem chladiva, se tento systém využívá při požadavku nízkých teplot, při kterých se chladicí faktory obou systémů dostávají na stejnou úroveň. Mezi tyto oběhy patří i oběh Stirlingův a Vuilleumierův.



Obr. 13 Schéma zařízení s proudovým oběhem [12]

PROUDOVÝ OBĚH

V tomto oběhu se využívá ejektoru k odparu chladiva z výparníku. Pracovní látkou je přehřátá pára vyrobená v parogenerátoru. Nejčastější je takzvané paroproudé chladicí zařízení, ve kterém je ochlazovaná látka voda a zároveň jako hnací látka je použita vodní pára.

TERMoeLEKTRICKÉ CHLAZENÍ

Tyto zařízení pracují na principu, který objevil roku 1834 francouzský fyzik Jean Charles Athanase Peltier a je po něm pojmenován. „Protéká-li elektrický proud nehomogenním



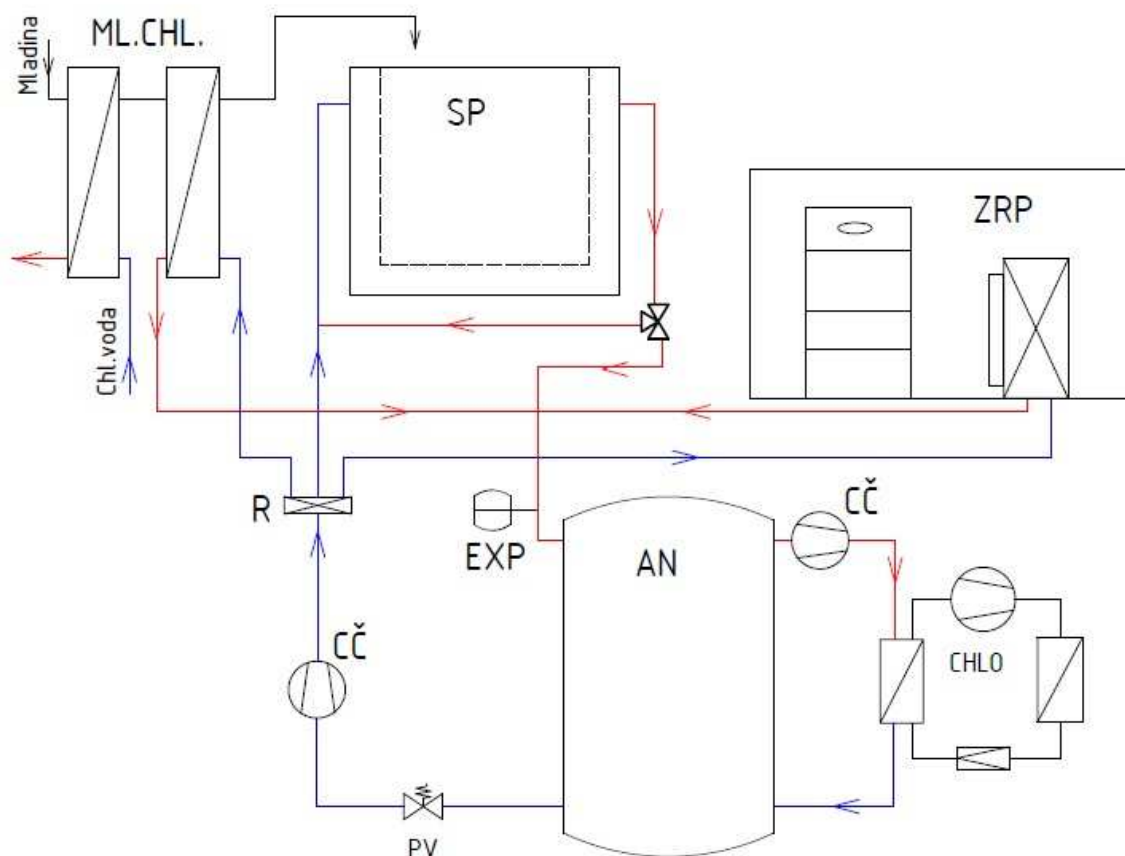
vodivým obvodem, vzniká na jednom konci ze spojů ohřev a na druhém ochlazení“ [12] Tohoto využívá takzvaný Peltierův článek, který se skládá ze dvou tělísek vyrobených z polovodičů typu N a P a měděných spojek. Toto zařízení by se v podstatě dalo přirovnat k opačně pracujícímu termočláнку, ve kterém rozdíl teplot vytváří slabé elektrické napětí.

Obr. 14 Peltierův článek [13]

Z důvodu nízkého chladicího faktoru se tato zařízení využívají především pro velmi malé chladicí výkony a pro aplikace, kde výhody (bezhluchost, absence rotujících částí a tedy dlouhá životnost, regulovatelnost...) převyšují nevýhodu jeho menší hospodárnosti. Peltierovy články se mimo jiné využívají v autochladničkách, chlazení počítačových komponent, elektrotechnice atd. [11, 12]

3 NÁVRH ZAŘÍZENÍ PIVOVARU

Veškeré výpočty a návrhy zařízení budou plánovány na **50 litrů** výsledného produktu. Mezi další předpoklady patří fakt, že každý proces výroby piva, tedy chlazení mladiny, hlavní kvašení ve spilce a zrání piva, budou vždy probíhat samostatně. Nemůže se tedy stát, že by bylo například potřeba chladit spilkou a zároveň s tímto vychlazovat ležácký prostor atp.



Obr. 15 Schéma zařízení pivovaru. ML.CHL: - mlatinový chladič, SP – spilka, ZRP – prostor zrání piva, ČČ – cirkulační čerpadlo, AN – akumulace nádrž, CHLO – chladicí oběh, R – rozdělovač, EXP – expanzní nádoba, PV – pojistný ventil

3.1 CHLADIČ MLADINY

Po chmelovaru je nutné mladinu zchladit. Dle [3] by toto zchlazování nemělo trvat déle než dvě hodiny od ukončení varu. Abychom dosáhli požadované teploty za určený čas, bude nutné využít tepelný výměník a mladinu jím zchladit.

Prvně je nutné určit množství chlazené mladiny. Jelikož se při hlavním kvašení, dle [3], odpaří přibližně 3 % mladiny je nutné výsledné množství mladiny o tento úbytek zvýšit.

$$V_p = 50 \text{ l}$$

$$V_{ml} = \frac{V_p}{1 - 0,03} = \frac{50}{0,97} \quad (1)$$

$$V_{ml} \approx 52 \text{ l}$$

V_p [l] – požadovaný výstupní objem piva

V_{ml} [l] – objem chlazené mladiny zvětšený o odpar

Danému objemu odpovídá hmotnost mladiny:

$$m_{ml} = V_{ml} \cdot \rho_{ml} = 0,052 \cdot 1050 \quad (2)$$

$m_{ml} = 54,6 \text{ kg}$ – hmotnost mladiny

$\rho_{ml} = 1050 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ – hustota mladiny [14]

$t_{mlvs} = 98 \text{ }^\circ\text{C}$ – vstupní teplota mladiny

$t_{ml1} = 12 \text{ }^\circ\text{C}$ – požadovaná teplota mladiny po zchlazení

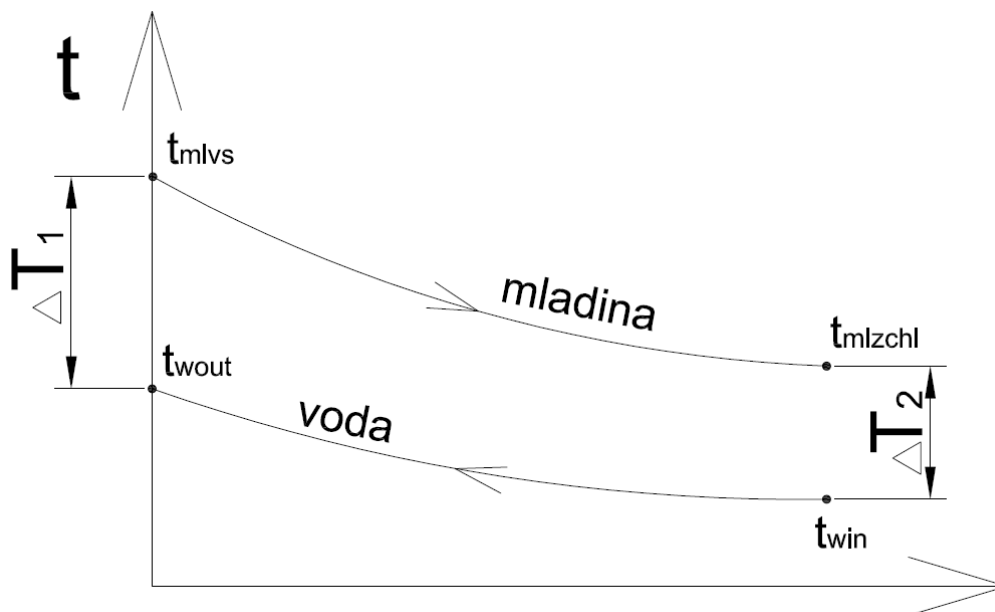
Systém bude navržen tak, abychom dané množství tepla odvedli zařízením s nižším chladicím výkonem, než který bychom potřebovali při přímém chlazení. Tohoto docílíme přidáním akumulární nádrže do chladicího systému, ve které si vychladíme dané množství chladicí kapaliny dopředu.

Z důvodu minimalizace objemu akumulární nádrže bude výměník tepla navržen jako dvoustupňový, kdy v prvním stupni mladinu ochladíme na teplotu okolo 25 °C vodou studniční nebo vodou z vodovodního řádu a v druhém stupni mladinu dochladíme na požadovanou teplotu dopředu nachlazeným chladičem z akumulární nádrže.

3.1.1 VÝPOČET VÝMĚNÍKU

- *Výpočet výměníku 1. stupně*

V obou případech budou použity deskové výměníky. Zapojení bude provedeno, jako protiproudé viz obr. 15.



Obr. 16 Průběh teplot v 1. výměníku

Zvolení hodnot:

$t_{win} = 15^{\circ}\text{C}$ - vstupní teplota vody do výměníku

$t_{wout} = 70^{\circ}\text{C}$ - výstupní teplota vody z výměníku

$t_{mlzchl} = 25^{\circ}\text{C}$ - teplota mladiny po chlazení v prvním stupni mladinového chladiče

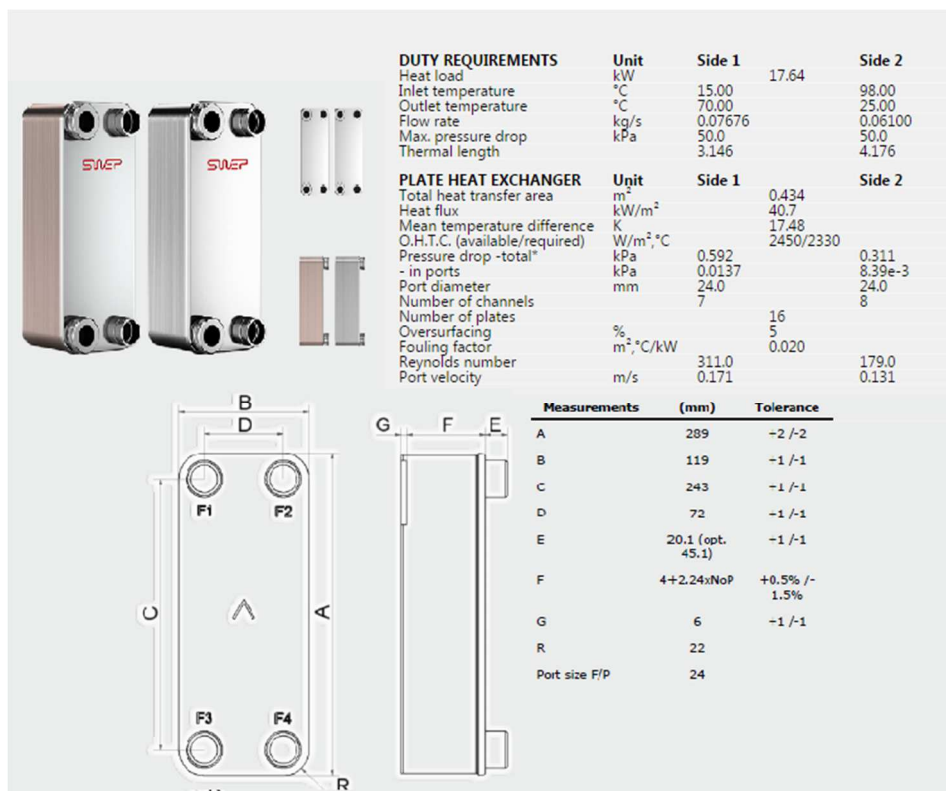
Dobu chlazení volím 15 minut, a tedy

$$\dot{m}_{ml1} = \frac{m_{ml}}{\tau_{chl}} = \frac{54,6}{15 \cdot 60} \quad (3)$$

$\dot{m}_{ml1} = 0,061 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$ - hmotnostní tok mladiny výměníkem

$\tau_{chl} = 15 \text{ min}$ - doba chlazení mladiny

Výměník bude vypočítán pomocí softwaru na stránkách výrobce deskových výměníků, firmy SWEP [18]. Po zadání požadovaných teplot a průtoku mladiny volím nerozebíratelný deskový výměník SWEP B10T×16 viz obr. 17.



Obr. 17 Deskový výměník SWEP B10T×16, Side 1-voda, Side 2-mladina [18]

Tabulka 1 Základní parametry 1. stupně chladiče mladiny

	Jednotka	Chladicí voda	Mladina
Tepelný výkon	kW	17.64	
Teplota na vstupu	°C	15	98
Teplota na výstupu	°C	70	25
Střední log. Spád	°C	17,48	
Průtok	kg/s	0,07676	0,061
Teplosměnná plocha	m²	0,434	
Celková tlaková ztráta	kPa	0,592	0,311
Počet desek	-	16	
Rychlost proudění	m/s	0,171	0,131

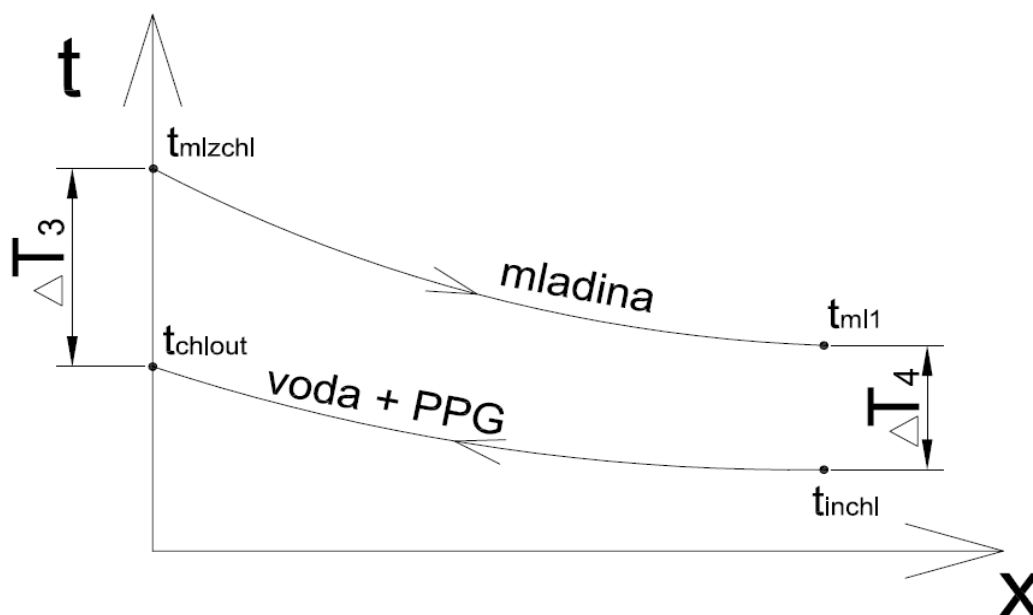
$$V_w = 0,07676 \cdot 15 \cdot 60 \approx 70 \text{ l} \quad - \text{objem vody potřebný k ochlazení mladiny}$$

K tomu abychom zchladily mladinu na požadovanou teplotu, potřebujeme přibližně 70 litrů vody. Tato voda může být využita k vaření další várky piva, k sanitaci nádob apod.

- Výpočet výměníku 2. stupně

Výpočet bude stejný jako u 1. výměníku s tím rozdílem, že chladicí látkou zde bude 30% propylenglykol (PPG) nachlazený v akumulační nádobě. Teplota glykolu v akumulační nádrži bude -5°C (důvod takto nízké teploty viz kapitola Prostor zrání piva).

$t_{inchl} = -5\text{ }^{\circ}\text{C}$ - vstupující teplota směsi vody s PPG



Obr. 18 Průběh teplot ve výměníku 2

Ohřátí chladicí směsi volím 5K.

$$\Delta T_{ch} = 5\text{ K}$$

Průtok mladiny v 1. i 2. výměníku musí být konstantní a tedy průtok mladiny v druhém výměníku:

$$\dot{m}_{ml1} = 0,061 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

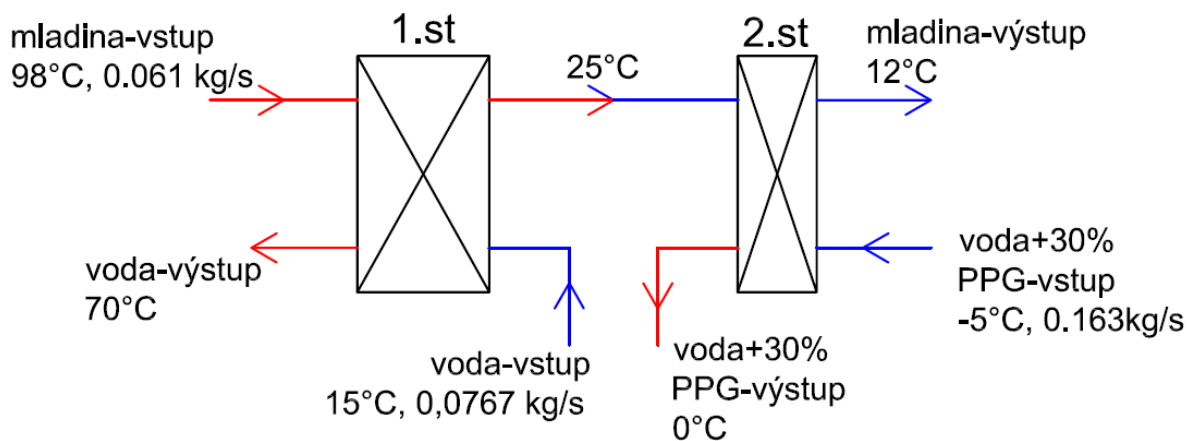
Byl vybrán stejný typ výměníku jako v předchozím případě s menším počtem desek SWEP B10T×6. Výpočet výměníku proveden opět s využitím softwaru výrobce výměníků. U obou výměníků bylo provedeno mírné předdimenzování teplosměnné plochy z důvodu zanášení během provozu.

Tabulka 2 Základní parametry 2. stupně chladiče mladiny

	Jednotka	30%PPG+voda	Mladina
Tepelný výkon	kW	3,09	
Teplota na vstupu	°C	-5	25
Teplota na výstupu	°C	0	12
Střední log. Spád	°C	20,74	
Průtok	kg/s	0,163	0,061
Teplosměnná plocha	m ²	0,124	
Celková tlaková ztráta	kPa	32,7	2,15
Počet desek	-	6	
Rychlost proudění	m/s	0,347	0,13

DUTY REQUIREMENTS		Unit	Side 1	Side 2
Heat load		kW	3.088	
Inlet temperature		°C	-5.00	25.00
Outlet temperature		°C	0.00	12.00
Flow rate		kg/s	0.1630	0.06100
Max. pressure drop		kPa	50.0	50.0
Thermal length			0.241	0.627
PLATE HEAT EXCHANGER		Unit	Side 1	Side 2
Total heat transfer area		m ²	0.124	
Heat flux		kW/m ²	24.9	
Mean temperature difference		K	20.74	
O.H.T.C. (available/required)		W/m ² , °C	2830/1200	
Pressure drop -total*		kPa	32.7	2.15
- in ports		kPa	0.0591	8.29e-3
Port diameter		mm	24.0	24.0
Number of channels			2	3
Number of plates			6	
Oversurfacing		%	136	
Fouling factor		m ² , °C/kW	0.393	
Reynolds number			178.2	200.2
Port velocity		m/s	0.347	0.130

Obr. 19 Parametry výměníku ze softwaru firmy SWEP. Side 1 - PPG+voda, Side 2 - mladina [18]



Obr. 20 Schéma zapojení mladinového chladiče

3.2 AKUMULAČNÍ NÁDRŽ

Objem akumulční nádrže musí pokrýt potřebu 2. st. chladiče mladiny. Množství chladicí směsi se vypočítá z průtoku chladicí směsi výměníkem.

$$\dot{m}_{chls} = 0,163 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \quad - \text{průtok chladiva výměníkem}$$

$$V_{an} = \frac{\dot{m}_{chls}}{\rho_{pg}} \cdot \tau_{chl} = \frac{0,163}{1038} \cdot 15 \cdot 60 \quad (4)$$

$$V_{an} = 0,141 \text{ m}^3 = 141 \text{ l} \quad - \text{minimální objem akumulční nádrže}$$

Objem akumulční nádrže volím 150 l.

$$\rho_{pg} = 1038 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad - \text{hustota chladicí směsi [18]}$$



Byla vybrána nádrž od společnosti Rolf [26].

3.2.1 TEPELNÁ ZÁTĚŽ AKUMULAČNÍ NÁDRŽE

Výrobce dodává nádrž s izolací z PUR pěny o tloušťce 100 mm. Tepelná ztráta akumulační nádrže je dle výrobce 1,04 kWh při rozdílu teplot 35 °C.

$$t_{inan} = \frac{t_{inchl} - t_{chlout}}{2} = \frac{-5 - 0}{2} \quad (5)$$

$$t_{inan} = -2,5 \text{ °C} \quad - \text{ střední teplota chladiva v AN}$$

$$t_{ok} = 18 \text{ °C} \quad - \text{ okolní teplota v místnosti}$$

Obr. 21 Akumulační nádrž [26]

Tepelná ztráta akumulační nádrže pro podmínky pivovaru:

$$\dot{Q}_{an} = \frac{(t_{ok} - t_{inan}) \cdot 1,04 \cdot 1000}{35 \cdot 24} = \frac{(18 + 2,5) \cdot 1,04 \cdot 1000}{35 \cdot 24} \quad (6)$$

$$\dot{Q}_{an} = 25,4 \text{ W} \quad - \text{ tepelná zátěž nádrže}$$

3.3 SPILKA

Jak již bylo uvedeno, po zchlazení mladiny na zákvasnou teplotu probíhá ve spilce proces hlavního kvašení. Při tomto procesu je nutné pomalu zchladit mladinu z 12°C na 7°C a na této teplotě ji udržovat po danou dobu hlavního kvašení. Dobu trvání hlavního kvašení volím 9 dnů.

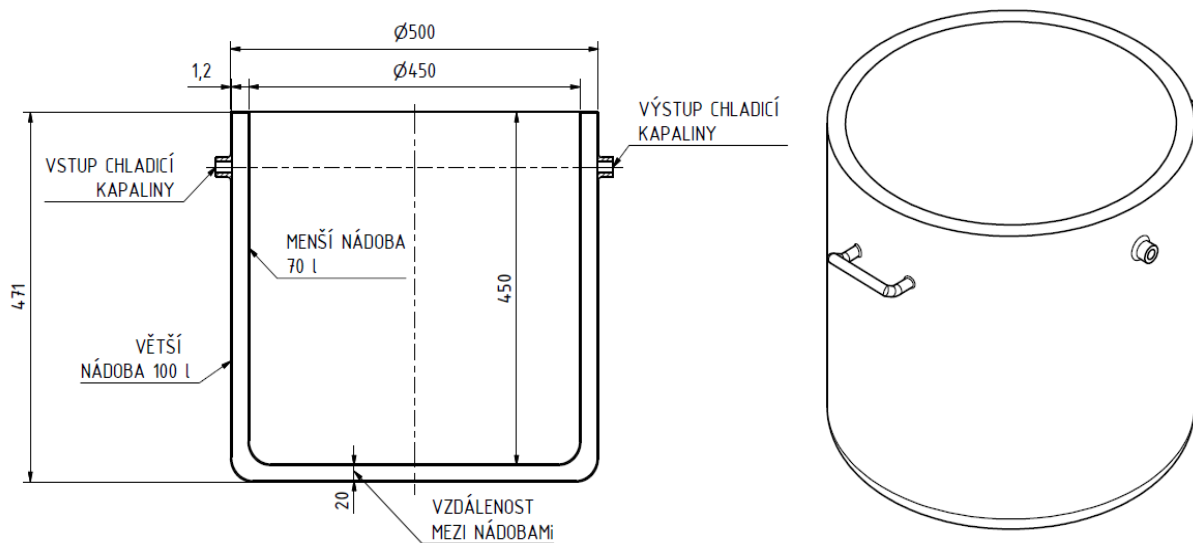
Z důvodu tvorby pěny na povrchu kvasící mladiny je nutné, aby objem spilky byl minimálně o dvacet procent větší, než je objem mladiny.

$$V_{minSP} = V_{ml} \cdot 1,2 = 52 \cdot 1,2 \quad (7)$$

$$V_{minSP} = 62,4 \text{ l}$$

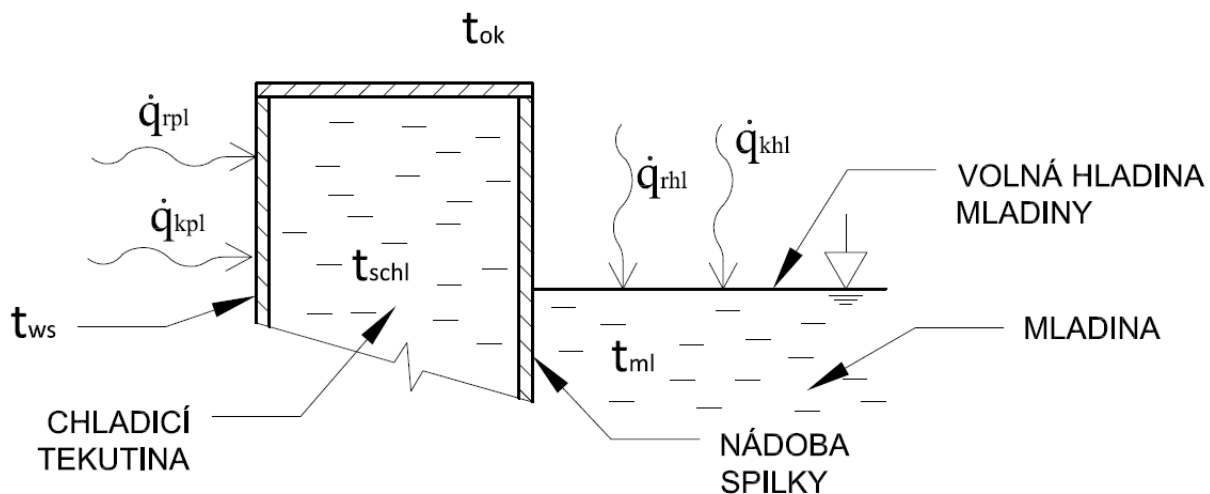
$$V_{minSP} \text{ [l]} \quad - \text{ minimální objem spilky}$$

Spilka bude volena jako dvouplášťová nádoba, kde v prostoru mezi pláštěm obou nádob bude proudit chladicí látka. Jako nádoby jsou použity dva nerezové hrnce o objemu 70 a 100 l (dostupné z <http://bit.ly/1JZbWqQ>). Na větší hrnec je nutné navařit šroubení pro přívod a odvod chladicí kapaliny. Potom se obě nádoby k sobě svaří pomocí prstence a vznikne tak hermeticky uzavřený prostor pro chladicí kapalinu.



Obr. 22 Návrh spilky se základními rozměry

3.3.1 VÝPOČET TEPELNÉ ZÁTĚŽE SPILKY



Obr. 23 Teploty a tepelná zátěž spilky, \dot{q}_{kpl} – konvektivní tepelná zátěž pláště spilky, \dot{q}_{rpl} – tepelná zátěž radiací pláště spilky, \dot{q}_{khl} – konvektivní tepelná zátěž volné hladiny mladiny, \dot{q}_{rhl} – tepelná zátěž radiací volné hladiny

Zvolené hodnoty:

- $L_{sp} = 0,471 \text{ m}$ - výška spilky
- $D_{sp} = 0,5 \text{ m}$ - vnější průměr spilky
- $d_{sp} = 0,45 \text{ m}$ - vnitřní průměr spilky
- $t_{ml} = 7 \text{ }^{\circ}\text{C}$ - teplota kvasící mladiny

Ohřátí chladiva po průchodu spilkou volím 5 K a tedy

$t_{outchl} = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ - teplota chladiva vystupující ze spilky

TEPELNÁ ZÁTĚŽ PLÁŠTĚ SPILKY KONVEKČÍ

$$t_{schl} = \frac{t_{inchl} + t_{outchl}}{2} = \frac{-5 + 0}{2} \quad (8)$$

$t_{schl} = -2.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ - střední teplota chladicí kapaliny uvnitř nádoby

K tomuto výpočtu budeme potřebovat střední teplotu povrchu pláště spilky t_{ws} . Zde volím

$t_{ws} = t_{schl} = -2.5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Skutečná hodnota t_{ws} bude o málo větší, z důvodu konvektivního odporu mezi pláštěm nádoby a chladicí kapalinou a také odporem tepla vedením v nerezové oceli. Ovšem tloušťka pláště „nerezového plechu“ je pouhých 1,2 mm a jeho odpor ovlivní povrchovou teplotu jen minimálně. Výpočty dle [15].

$$t_{chpl} = \frac{t_{ok} + t_{ws}}{2} = \frac{18 - 2.5}{2} \quad (9)$$

$t_{chpl} = 7.75\text{ }^{\circ}\text{C}$ - charakteristická teplota povrchu pláště spilky

$$\Delta t_{pl} = t_{ok} - t_{ws} = 18 + 2.5 \quad (10)$$

$\Delta t_{pl} = 20.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ - rozdíl teplot mezi povrchem pláště spilky a okolní teplotou

Tabulka 3. Vlastnosti vzduchu při teplotě t_{chpl} [14]

Hustota vzduchu	Součinitel tepelné vodivosti	Kinematická viskozita	Součinitel objemové roztažnosti	Prandtlovo číslo
ρ_{chpl}	λ_{chpl}	ν_{chpl}	β_{chpl}	Pr_{chpl}
kg/m ³	W/(m·K)	m ² /s	K ⁻¹	-
1,2359	0,02508	$1,44308 \cdot 10^{-5}$	0,003559	0,71608

- *Grashofovo číslo*

$$Gr = \frac{g \cdot \beta_{chpl} \cdot \Delta t_{pl} \cdot L_{sp}^3}{\nu_{chpl}^2} = \frac{9,81 \cdot 0,003559 \cdot 20,5 \cdot 0,471^3}{0,0000144308^2} \quad (11)$$

$$Gr = 359213320.7$$

g [m·s⁻²] - gravitační zrychlení u povrchu země

- *Rayleighovo číslo*

$$Ra = Gr \cdot Pr_{chpl} = 359213320.7 \cdot 0,71608 \quad (12)$$

$$Ra = 257225474.7$$

Abychom mohli využít vztahy na výpočet svislé desky pro výpočet svislého válce, musí platit:

$$\frac{D_{sp}}{L_{sp}} \geq \frac{35}{Gr^{\frac{1}{4}}} ; \frac{0,5}{0,471} \geq \frac{35}{359213320,7^{\frac{1}{4}}} \quad (13)$$

$$1.06157 \geq 0.2542 - \text{SPLNĚNO}$$

- *Nusseltovo číslo*

$$Nu = \left\{ 0,825 + \frac{0,387 \cdot Ra^{1/6}}{[1 + (0,492/Pr)^{9/16}]^{8/27}} \right\}^2 = \left\{ 0,825 + \frac{0,387 \cdot 257225474,7^{1/6}}{[1 + (0,492/0,716)^{9/16}]^{8/27}} \right\}^2 \quad (14)$$

$$Nu = 81,2089$$

- *Součinitel přestupu tepla*

$$\alpha_{pl} = \frac{Nu \cdot \lambda_{chpl}}{L_{sp}} = \frac{81,2089 \cdot 0,02508}{0,471} \quad (15)$$

$$\alpha_{pl} = 4,324 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

α_{pl} – součinitel přestupu tepla mezi pláštěm spilky a okolním vzduchem

- *Měrná tepelná zátěž konvekci*

$$\dot{q}_{kpl} = \alpha_{pl} \cdot \Delta t_{pl} = 4,324 \cdot 20,5 \quad (16)$$

$$\dot{q}_{kpl} = 88,642 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \quad - \text{měrná tepelná ztráta konvekci pláště spilky}$$

- *Povrch pláště spilky*

$$S_{pl} = \pi \cdot D_{sp} \cdot L_{sp} = 3,14 \cdot 0,5 \cdot 0,471 \quad (17)$$

$$S_{pl} = 0,73985 \text{ m}^2 \quad - \text{povrch obvodového pláště spilky}$$

- *Tepelná zátěž konvekci*

$$\dot{Q}_{kpl} = \dot{q}_{kpl} \cdot S_{pl} = 79,8874 \cdot 0,73985 \quad (18)$$

$$\dot{Q}_{kpl} = 65,585 \text{ W} \quad - \text{tepelná zátěž pláště spilky konvekci}$$

TEPELNÁ ZÁTĚŽ PLÁŠTĚ SPILKY RADIACÍ

$$T_{ok} = 291,15 \text{ K} \quad - \text{okolní teplota v místnosti}$$

$$T_{ws} = 270,65 \text{ K} \quad - \text{teplota povrchu pláště spilky}$$

$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4} \quad - \text{Stefanova - Boltzmannova konstanta}$$

$$\varepsilon_{no} = 0,17 \quad - \text{emisivita nerezové oceli}$$

$$\dot{Q}_{rpl} = \sigma \cdot \varepsilon_{no} \cdot S_p \cdot (T_{ok}^4 - T_{ws}^4) = 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 0,17 \cdot 0,73985 \cdot (291,15^4 - 270,65^4) \quad (19)$$

$$\dot{Q}_{rpl} = 12,9761 \text{ W}$$

CELKOVÁ TEPELNÁ ZÁTĚŽ PLÁŠTĚ SPILKY

$$\dot{Q}_{c,pl} = Q_{kpl} + Q_{rpl} = 65,585 + 12,9761 \quad (20)$$

$$\dot{Q}_{c,pl} = 78,56 \text{ W}$$

TEPELNÁ ZÁTĚŽ HLADINY MLADINY KONVEKČÍ

Ve výpočtu pro zjednodušení nahradíme hladinu rovinnou deskou ohřívanou přirozenou konvekcí okolním vzduchem dle [15].

- *Charakteristická teplota*

$$t_{chhl} = \frac{t_{ml} + t_{ok}}{2} = \frac{7 + 18}{2} \quad (21)$$

$$t_{chhl} = 12,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Tabulka 4. Vlastnosti vzduchu při teplotě t_{chhl} [14]

Hustota vzduchu	Součinitel tepelné vodivosti	Kinematická viskozita	Součinitel objemové roztažnosti	Prandtlovo číslo
ρ_{chhl}	λ_{chhl}	ν_{chhl}	β_{chhl}	Pr_{chhl}
kg/m ³	W/(m·K)	m ² /s	K ⁻¹	-
1,2359	0,02508	0,0000144308	0,003500788	0,71608

- *Charakteristický rozměr*

$$S_{hl} = \frac{\pi \cdot d_{sp}^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,45^2}{4} \quad (22)$$

$$S_h = 0,15904 \text{ m}^2 \quad - \text{povrch hladiny}$$

$$O_{hl} = \pi \cdot d_{sp} = 3,14 \cdot 0,45 \quad (23)$$

$$O_{hl} = 1,4137 \text{ m} \quad - \text{obvod hladiny}$$

$$L_{hl} = \frac{S_{hl}}{O_{hl}} = \frac{0,15904}{1,4137} \quad (24)$$

$L_{hl} = 0,1125 \text{ m}$ - charakteristický rozměr hladiny

- *Grashofovo číslo*

$$Gr = \frac{g \cdot \beta_{chhl} \cdot (t_{ok} - t_{ml}) \cdot L_{hl}^3}{\nu_{chhl}^2} = \frac{9,81 \cdot 0,0035 \cdot (18 - 7) \cdot 0,1125^3}{0,0000144308^2} \quad (25)$$

$$**Gr = 2582876,341**$$

- *Rayleighovo číslo*

$$Ra = Gr \cdot Pr_{chhl} = 2582876,341 \cdot 0,71608 \quad (26)$$

$$**Ra = 1849546,09**$$

- *Nusseltovo číslo*

Platí pro: $10^5 \leq Ra \leq 10^{10}$ - **SPLNĚNO**

$$Nu = 0,27 \cdot Ra^{1/4} = 0,27 \cdot 1849546,09^{1/4} \quad (27)$$

$$**Nu = 9,957035458**$$

- *Součinitel přestupu tepla*

$$\alpha_{hl} = \frac{Nu \cdot \lambda_{chhl}}{L_{hl}} = \frac{9,957 \cdot 0,02508}{0,1125} \quad (28)$$

$$**\alpha_{hl} = 2,2198 \frac{W}{m^2 \cdot K}**$$

- *Teplná zátěž hladiny konvekcí*

$$\dot{Q}_{khl} = \alpha_{hl} \cdot S_{hl} \cdot (t_{ok} - t_{ml}) = 2,2198 \cdot 0,15904 \cdot (18 - 7) \quad (29)$$

$$**\dot{Q}_{khl} = 3,8834 \text{ W}**$$

TEPELNÁ ZÁTĚŽ PLÁŠTĚ SPILKY RADIACÍ

$$\dot{Q}_{rhl} = \sigma \cdot \varepsilon_v \cdot S_{hl} \cdot (T_{ok}^4 - T_{ml}^4) = 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 0,95 \cdot 0,15904 \cdot (291,15^4 - 280,15^4) \quad (30)$$

$$**\dot{Q}_{rhl} = 8,787 \text{ W}**$$

CELKOVÁ TEPELNÁ ZÁTĚŽ HLADINY MLADINY

$$\dot{Q}_{c,hl} = \dot{Q}_{khl} + \dot{Q}_{rhl} = 3,8834 + 8,787 \quad (31)$$

$$**\dot{Q}_{c,hl} = 12,671 \text{ W}**$$

TEPELNÁ ZÁTĚŽ SPILKY DNEM

Spilka bude umístěna v místnosti na zemi. Předpokládáme-li teplotu podlahy stejnou s teplotou okolního vzduchu v místnosti, je nutné dno nádoby od podlahy odizolovat. Jako izolaci volím extrudovaný polystyren o tloušťce 40 mm.

$$\lambda_{iz} = 0,04 \frac{W}{m \cdot K} \quad - \text{ součinitel tepelné vodivosti izolace dna}$$

$$\delta_{izdno} = 0,04 \text{ m} \quad - \text{ šířka izolace}$$

$$t_{podl} = 18^\circ C \quad - \text{ teplota podlahy}$$

$$S_{dna} = \frac{\pi \cdot D_{sp}^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,5^2}{4} \quad (32)$$

$$S_{dno} = 0,1964 \text{ m}^2$$

Teplotu na povrchu dna spilky volím opět stejnou jako střední teplotu chladiva t_{schl} . Tímto krokem se úloha zjednoduší pouze na přenos tepla vedením v izolaci a to mezi povrchem dna spilky a podlahou.

$$\dot{Q}_{dno} = \frac{t_{podl} - t_{schl}}{\frac{\delta_{izdno}}{\lambda_{iz} \cdot S_{dno}}} = \frac{18 - 1}{\frac{0,04}{0,04 \cdot 0,1964}} \quad (33)$$

$$\dot{Q}_{dno} = 3,73 \text{ W}$$

VÝVIN TEPLA PŘI KVAŠENÍ MLADINY

Přeměna zkvasitelných cukrů na alkohol a oxid uhličitý je spojena také s vývinem tepla. Dle [3] se při zkvašování 12% mladiny uvolní 45,15 kJ na jeden litr mladiny. Předpokládáme-li, rovnoměrné uvolňování tepelné energie po celou dobu hlavního kvašení vychází:

$$Q_{kv} = V_{ml} \cdot Q_{mkv} = 52 \cdot 45,15 \quad (34)$$

$$Q_{kv} = 2347,8 \text{ kJ} \quad - \text{ množství tepla vzniklé kvašením}$$

$$Q_{mkv} = 45,15 \text{ kJ} \cdot l^{-1} \quad - \text{ měrný vývin tepla při kvašení mladiny}$$

$$\dot{Q}_{kv} = \frac{Q_{kv}}{\tau_{hkv}} = \frac{2347800}{9 \cdot 24 \cdot 3600} \quad (35)$$

$$\dot{Q}_{kv} = 3,02 \text{ W} \quad - \text{ tepelný výkon vyvíjený při kvašení}$$

$$\tau_{hkv} = 9 \text{ dnů} \quad - \text{ doba hlavního kvašení}$$

CELKOVÁ TEPELNÁ ZÁTĚŽ SPILKY

$$\dot{Q}_{c,sp} = \dot{Q}_{c,pl} + \dot{Q}_{c,hl} + \dot{Q}_{dno} + \dot{Q}_{kv} = 8,56 + 12,671 + 3,73 + 3,02 \quad (36)$$

$$\dot{Q}_{c,sp} = 98 \text{ W}$$

3.4 VOLBA VZDUCHOVÉHO CHLADIČE

Vzduchový chladič bude v prostoru zrání piva sloužit k přenosu tepla z chladicí kapaliny do vzduchu.

Byl vybrán automobilový chladič s ventilátorem poháněný DC motorem 12V. Tento chladič je určený pro vozidla značky Škoda Fabia, Roomster a Rapid přesněji pro motory 1.0MPI 37 kW, 1.2HTP 40kW/47kW/55kW, 1.4MPI 50kW. Výkon tohoto chladiče je pro potřeby zracího prostoru silně naddimenzovaný, ovšem jeho nespornou výhodou je jeho nízká cena.



Obr. 24 Automobilový chladič [19]

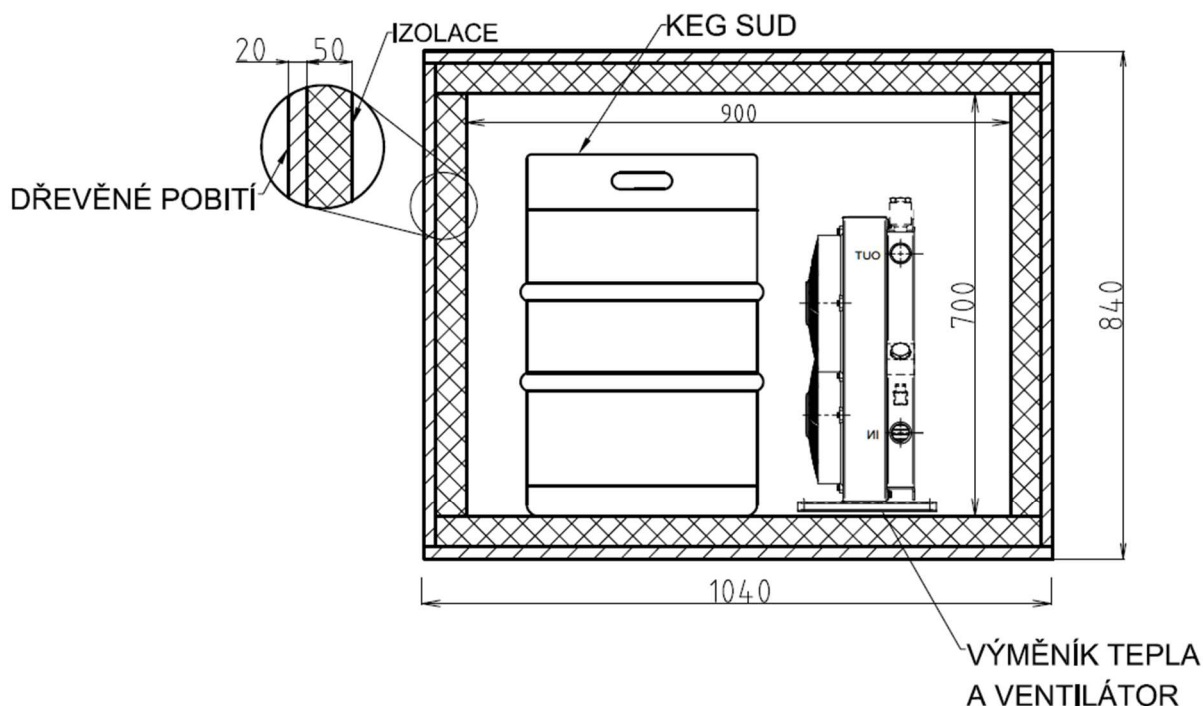
3.5 PROSTOR ZRÁNÍ PIVA

Po uplynutí doby devíti dnů, kdy ve spilce probíhalo hlavní kvašení, následuje takzvané dokvašování neboli zrání piva. Při tomto procesu se dokvašují zbylé sacharidy, pivo se číří a zároveň se sytí oxidem uhličitým. Doba zrání se liší u každého vyráběného piva. Dobu zrání volím 6 týdnů tedy 42 dnů. Důležité je dodržování teploty okolo dvou stupňů celsia.

$\tau_{zr} = 42 \text{ dnů}$ - doba zrání piva v sudu

$t_{zr} = 2 \text{ °C}$ - teplota zrání

Jelikož bude zrání probíhat v klasickém KEG sudu, se kterým je nutné manipulovat, bude nutné ochlazovat prostředí okolo něj. K tomuto účelu bude sloužit prostor odizolovaný od okolního prostředí vrstvou polystyrenu, viz obr. 25. Tento prostor bude chlazen vzduchovým chladičem s ventilátorem.



Obr. 25 Prostor zrání piva, ventilátor [20]

ROZMĚRY CHLAZENÉHO PROSTORU

$H_{zr} = 0,84 \text{ m}$ - výška bedny

$B_{zr} = 0,72 \text{ m}$ - šířka bedny

$L_{zr} = 1,04 \text{ m}$ - délka bedny

$$S_{oszr} = 2 \cdot L_{zr} \cdot H_{zr} + 2 \cdot B_{zr} \cdot H_{zr} = 2 \cdot 1,04 \cdot 0,84 + 2 \cdot 0,72 \cdot 0,84 \quad (37)$$

$S_{oszr} = 2,9568 \text{ m}^2$ - povrch obvodových stěn zrací bedny

$$S_{vzr} = B_{zr} \cdot L_{zr} = 0,72 \cdot 1,04 \quad (38)$$

$S_{vzr} = 0,7488 \text{ m}^2$ - povrch víka zrací bedny

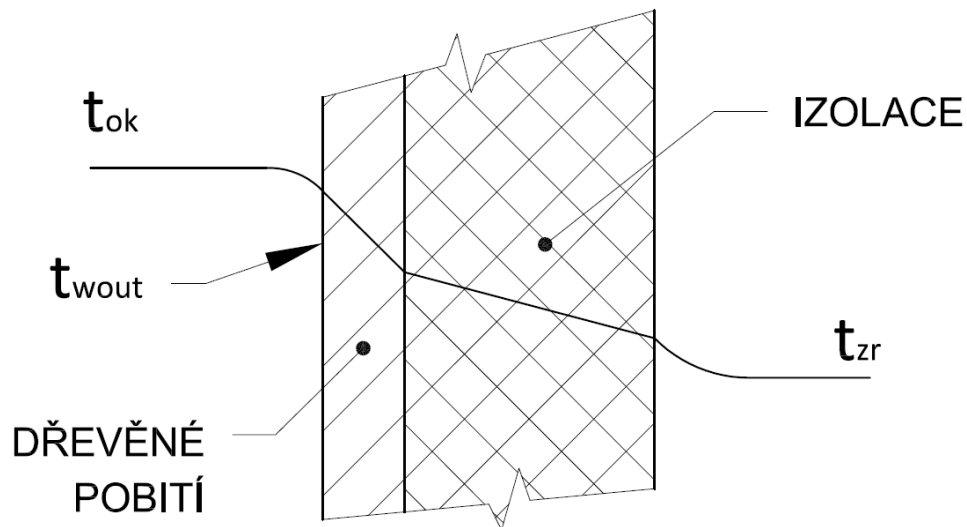
$\delta_{izzr} = 0,05 \text{ m}$ - tloušťka izolace

$\delta_{dr} = 0,02 \text{ m}$ - tloušťka dřevěného pobití

$\lambda_{iz} = 0,04 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$ - součinitel tepelné vodivosti izolace

$\lambda_{dr} = 0,207 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$ - součinitel tepelné vodivosti dřeva

3.5.1 VÝPOČET TEPELNÉ ZÁTĚŽE ZRACÍHO PROSTORU



Obr. 26 Předpokládaný průběh teploty přes stěnu bedny

TEPELNÝ TOK SVISLÝMI STĚNAMI - KONVEKCE, VEDENÍ

$$\dot{Q}_{zrs} = \frac{t_{ok} - t_{zr}}{\frac{1}{\alpha_{outzr} \cdot S_{oszr}} + \frac{\delta_{dr}}{\lambda_{dr} \cdot S_{oszr}} + \frac{\delta_{izzr}}{\lambda_{iz} \cdot S_{oszr}} + \frac{1}{\alpha_{inzr} \cdot S_{oszr}}} \quad (39)$$

\dot{Q}_{zrs} [W] - tepelný tok svislými stěnami – přirozená konvekce

α_{outzr} $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$ - součinitel přestupu tepla na vnější straně svislé stěny zracího prostoru

α_{inzr} $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$ - součinitel přestupu tepla na vnitřní straně svislé stěny zracího prostoru

Oba dva součinitele přestupu tepla jsou v rovnici neznámými. Proto bude součinitel přestupu tepla α_{inzr} na vnitřní straně vhodně zvolen. Dle [16] volím:

$$\alpha_{inzr} = 10 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Pro výpočet součinitele přestupu tepla na vnější straně budou použity stejné vztahy jako v kapitole 3.1.1 Tepelná zátěž pláště spilky konvekcí a to dle [15]. Úloha se ovšem komplikuje, z důvodu neznáme povrchové teploty stěny t_{wout} . Pro výpočet tedy byla zvolena takzvaná iterační metoda výpočtu pomocí programu Microsoft Office Excel. Po iteraci vyšla teplota na povrchu

$t_{wout} = 14,41 \text{ } ^\circ\text{C}$ - teplota na povrchu svislé stěny zrací bedny

- Charakteristická teplota

$$t_{chss} = \frac{t_{wout} + t_{ok}}{2} = \frac{14,41 + 18}{2} \quad (40)$$

$t_{chss} = 16,205 \text{ } ^\circ\text{C}$ - charakteristická teplota - svislá stěna

Tabulka 5. Vlastnosti vzduchu při t_{chss}

Hustota	Součinitel tepelné vodivosti	Kinematická viskozita	Součinitel objemové roztažnosti	Prandtlovo číslo
ρ_{ss}	λ_{ss}	ν_{ss}	β_{ss}	Pr_{ss}
kg/m ³	W/(m·K)	m ² /s	K ⁻¹	-
1,205	0,0257	0,00001511	0,003455974	0,713

- Grashofovo číslo

$$Gr = \frac{g \cdot \beta_{ss} \cdot (t_{ok} - t_{wout}) \cdot H_{zr}^3}{\nu_{ss}^2} = \frac{9,81 \cdot 0,003456 \cdot (18 - 14,41) \cdot 0,84^3}{0,00001511^2} \quad (41)$$

$$Gr = 316138135,8$$

- Rayleighovo číslo

$$Ra = Gr \cdot Pr_{ss} = 316138135,8 \cdot 0,713 \quad (42)$$

$$Ra = 226038767,1$$

- Nusseltovo číslo

$$Nu = \left\{ 0,825 + \frac{0,387 \cdot Ra^{1/6}}{[1 + (0,492/Pr)^{9/16}]^{8/27}} \right\}^2 = \left\{ 0,825 + \frac{0,387 \cdot 226038767,1^{1/6}}{[1 + (0,492/0,713)^{9/16}]^{8/27}} \right\}^2 \quad (43)$$

$$Nu = 78,0494$$

- Součinitel přestupu tepla

$$\alpha_{outzr} = \frac{Nu \cdot \lambda_{ss}}{H_{zr}} = \frac{78,0494 \cdot 0,0257}{0,84} \quad (44)$$

$$\alpha_{outzr} = 2,38793 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Dosazení do rovnice (35):

$$\dot{Q}_{zrs} = \frac{18 - 2}{\frac{1}{2,3879 \cdot 2,9568} + \frac{0,02}{0,207 \cdot 2,9568} + \frac{0,05}{0,04 \cdot 2,9568} + \frac{1}{10 \cdot 2,9568}}$$

$$\dot{Q}_{zrs} = 25,361 W$$

TEPELNÁ ZÁTĚŽ RADIACÍ

$$\dot{Q}_{zrsr} = \sigma \cdot \varepsilon_{dr} \cdot S_{oszr} (T_{ok}^4 - T_{wout}^4) = 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 0,9 \cdot 2,9568 \cdot (291,15^4 - 287,56^4) \quad (45)$$

$$\dot{Q}_{rsr} = 52,513 \text{ W}$$

$$\varepsilon_{dr} = 0,9 [-] \quad - \text{emisivita dřeva [17]}$$

$$T_{wout} = 287,56 \text{ K} \quad - \text{povrchová teplota vnější svislé stěny}$$

CELKOVÝ TEPELNÝ TOK SVISLÝMI STĚNAMI

$$\dot{Q}_{c,ss} = Q_{zrs} \cdot Q_{zrsr} = 25,361 + 52,513 \quad (46)$$

$$\dot{Q}_{c,ss} = 77,88 \text{ W}$$

TEPELNÝ TOK VÍKEM - KONVEKCE, VEDENÍ

$$\dot{Q}_{zrvk} = \frac{t_{ok} - t_{zr}}{\frac{1}{\alpha_{outv} \cdot S_{vzr}} + \frac{\delta_{dr}}{\lambda_{dr} \cdot S_{vzr}} + \frac{\delta_{izzr}}{\lambda_{iz} \cdot S_{vzr}} + \frac{1}{\alpha_{inv} \cdot S_{vzr}}} \quad (47)$$

$$\dot{Q}_{zrv} [W] \quad - \text{tepelný tok víkem – přirozená konvekce}$$

$$\alpha_{outv} \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right] \quad - \text{součinitel přestupu tepla na vnější straně víka zracího prostoru}$$

$$\alpha_{inv} \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right] \quad - \text{součinitel přestupu tepla na vnitřní straně víka zracího prostoru}$$

Také zde jsou součinitelé přestupu tepla neznámý. Dle [16] volím:

$$\alpha_{inv} = 8 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Teplota povrchu na vnější straně víka po iteraci vyšla:

$$t_{woutv} = 13,107 \text{ } ^\circ\text{C}$$

- *Charakteristická teplota*

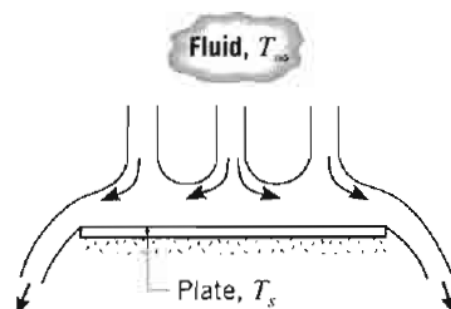
$$t_{chv} = \frac{t_{woutv} + t_{ok}}{2} = \frac{13,107 + 18}{2} \quad (48)$$

$$t_{chv} = 15,5535 \text{ } ^\circ\text{C} \quad - \text{charakteristická teplota}$$

- víko

Z důvodu malého rozdílu charakteristických teplot použiji vlastnosti vzduchu uvedené v tabulce 5. Výpočet bude proveden pro studený horní povrch horizontální desky, viz obr. 27 [15].

- *Charakteristický rozměr*



Obr. 27 Přirozená konvekce na desce chladnější než okolní prostředí $T_s < T_\infty$ [15]

$$O_v = 2 \cdot B_{zr} + 2 \cdot L_{zr} = 2 \cdot 0,72 + 2 \cdot 1,04 \quad (49)$$

$$O_v = 3,52 \text{ m} \quad - \text{obvod víka}$$

$$L_v = \frac{S_{vzr}}{O_v} = \frac{0,7488}{3,52} \quad (50)$$

$$L_v = 0,2127 \text{ m} \quad - \text{charakteristický rozměr víka}$$

- *Grashofovo číslo*

$$Gr = \frac{g \cdot \beta_{ss} \cdot (t_{ok} - t_{woutv}) \cdot L_v^3}{\nu_{ss}^2} = \frac{9,81 \cdot 0,003456 \cdot (18 - 13,107) \cdot 0,2127^3}{0,00001511^2} \quad (51)$$

$$Gr = 7010696,86$$

- *Rayleighovo číslo*

$$Ra = Gr \cdot Pr_{ss} = 7010696,86 \cdot 0,713 \quad (52)$$

$$Ra = 4998626,861$$

- *Nusseltovo číslo*

Platí pro: $10^5 \leq Ra \leq 10^{10}$ - **SPLNĚNO**

$$Nu = 0,27 \cdot Ra^{1/4} = 0,27 \cdot 4998626,861^{1/4} \quad (53)$$

$$Nu = 12,7666$$

- *Součinitel přestupu tepla*

$$\alpha_{outv} = \frac{Nu \cdot \lambda_{ss}}{L_v} = \frac{12,7666 \cdot 0,0257}{0,2127} \quad (54)$$

$$\alpha_{outv} = 1,5424 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

Dosazení do rovnice (47)

$$\dot{Q}_{zrvk} = \frac{18 - 2}{\frac{1}{1,5424 \cdot 0,7488} + \frac{0,02}{0,207 \cdot 0,7488} + \frac{0,05}{0,04 \cdot 0,7488} + \frac{1}{8 \cdot 0,7488}}$$

$$\dot{Q}_{zrvk} = 5,7 \text{ W}$$

TEPELNÁ ZÁTĚŽ VÍKA RADIACÍ

$$\dot{Q}_{zrvr} = \sigma \cdot \varepsilon_{dr} \cdot S_{vzr} (T_{ok}^4 - T_{woutv}^4) = 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 0,9 \cdot 0,7488 \cdot (291,15^4 - 286,26^4) \quad (55)$$

$$\dot{Q}_{zrvr} = 18 \text{ W}$$

$T_{woutv} = 286,26 \text{ K}$ - vnější povrchová teplota víka

CELKOVÝ TEPELNÝ TOK VÍKEM BEDNY

$$\dot{Q}_{zrv} = \dot{Q}_{zrvk} + \dot{Q}_{zrvr} = 5,7 + 18 \quad (56)$$

$$\dot{Q}_{zrv} = 23,7 \text{ W}$$

TEPELNÁ ZÁTĚŽ ZRACÍ BEDNY DNEM

Opět předpokládáme teplotu podlahy stejnou s teplotou okolí. Součinitel přestupu tepla na vnitřní straně zracího prostoru mezi vzduchem a izolací volím dle [16]. Povrch podlahy je totožný s povrchem víka.

$$\alpha_{zrp} = 8 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$\dot{Q}_{zrp} = \frac{t_{ok} - t_{zr}}{\frac{\delta_{dr}}{\lambda_{dr} \cdot S_{vzr}} + \frac{\delta_{izzr}}{\lambda_{iz} \cdot S_{vzr}} + \frac{1}{\alpha_{zrp} \cdot S_{vzr}}} \quad (57)$$

$$\dot{Q}_{zrp} = \frac{18 - 2}{\frac{0,02}{0,207 \cdot 0,7488} + \frac{0,05}{0,04 \cdot 0,7488} + \frac{1}{8 \cdot 0,7488}}$$

$$\dot{Q}_{zrp} = 8,141 \text{ W}$$

TEPELNÁ ZÁTĚŽ MOTOREM VENTILÁTORU

Uvnitř vychlazovaného prostoru bude umístěn ventilátor s pohonem, který bude produkovat teplo. Příkon stejnosměrného motoru se určí ze vztahu:

$$P_{DCM} = U_m \cdot I_m = 12 \cdot 8 \quad (58)$$

$$P_{DCM} = 96 \text{ W}$$

Při uvažování 75% účinnosti motoru bude tepelná zátěž

$$\dot{Q}_{vent} = P_{DCM} \cdot (1 - 0,75) = 96 \cdot (1 - 0,75) \quad (59)$$

$$\dot{Q}_{vent} = 24 \text{ W}$$

$I_m [\text{A}]$ - napájecí proud motoru

$U_m [\text{V}]$ - napájecí napětí motoru

CELKOVÁ TEPELNÁ ZÁTĚŽ ZRACÍHO PROSTORU

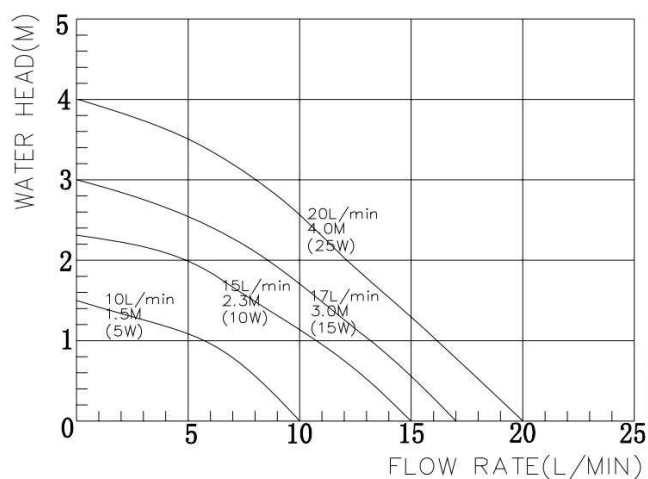
$$\dot{Q}_{c,zr} = \dot{Q}_{c,ss} + \dot{Q}_{zrv} + \dot{Q}_{zrp} + \dot{Q}_{vent} = 77,88 + 23,7 + 8,141 + 24 \quad (60)$$

$$\dot{Q}_{c,zr} = 133,7 \text{ W}$$

3.6 CÍRKULAČNÍ ČERPADLO

Toto čerpadlo musí zajistit cirkulaci chladiva v oběhu a překonat tlakové ztráty v potrubí a v zařízeních. Bylo vybráno cirkulační čerpadlo HS 25 INOX.

Technická data: Napájecí napětí: 8 – 24VDC
Maximální průtok: 22L/min
Maximální výtlak: 4,5m
Připojení: G 1/2“
Maximální tlak v systému: 10Bar
Maximální pracovní teplota: 110°C



Obr. 28 Cirkulační čerpadlo [24]

4 NÁVRH CHLADICÍHO OKRUHU

Chladicí zařízení bude chladit směs vody s PPG na teplotu $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Jelikož je v systému zařazena akumulční nádrž, návrh počítá s nachlazením objemu akumulční nádrže s časovým předstihem. Chladicí výkon zařízení musí tedy pokrýt tepelnou ztrátu akumulční nádrže a po celou dobu zrání piva stačit dochlazovat chladicí směs na požadovanou teplotu.

Pro tuto aplikaci byl zvolen jednostupňový chladicí oběh s kompresorem, stručně popsany v kapitole 2.2.1 na straně 21.

4.1 KOMPONENTY CHLADICÍHO OKRUHU

4.1.1 KONDENZAČNÍ JEDNOTKA

Zvolené hodnoty:

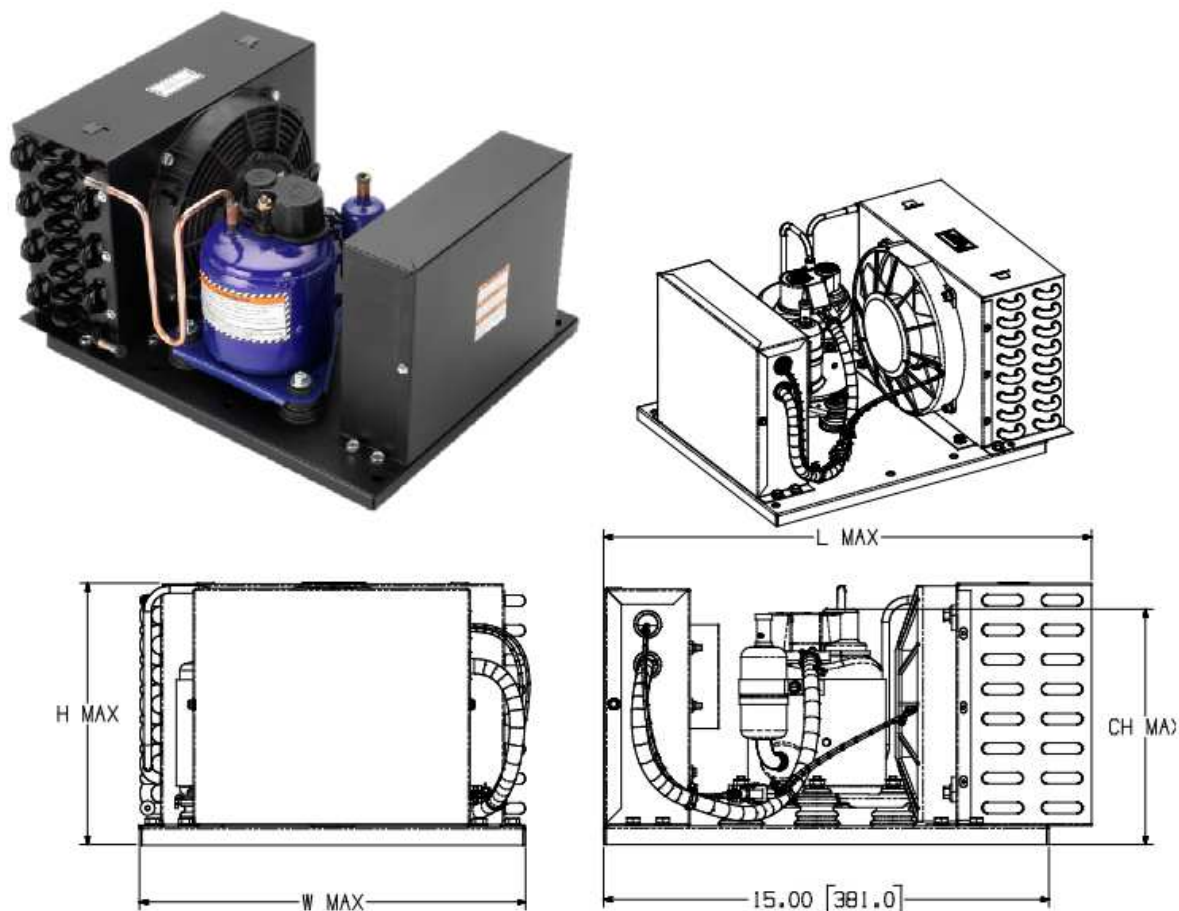
$t_k = 38\text{ }^{\circ}\text{C}$	- kondenzační teplota
$t_{maxo} = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$	- maximální uvažovaná teplota okolí
$t_{vyp} = -10\text{ }^{\circ}\text{C}$	- vypařovací teplota

Bylo vybráno zařízení od firmy Masterflux. Toto zařízení se skládá z kompresoru, kondenzátoru a řídicí jednotky.

Kondenzátorem je odváděno teplo z chladicího oběhu. V této jednotce je použit vzduchem chlazený kondenzátor. Tíženého chladicího účinku je docíleno nuceným prouděním vzduchu okolo lamelové teplosměnné plochy. Nucené proudění vzduchu zajišťuje axiální ventilátor [21].

Dle výpočtového programu firmy Masterflux dostupného z <http://www.masterflux.com/products/sierra/?pid=22>, pro vybrané zařízení a zadané hodnoty platí:

$Q_0 = 551\text{ W}$	- chladicí výkon
$P_k = 208\text{ W}$	- příkon kompresoru
$U_k = 12\text{ V}$	- napětí
$I_k = 17,37\text{ A}$	- napájecí proud kompresoru
$\dot{m}_{refr} = 0,002872\text{ }\frac{\text{kg}}{\text{s}}$	- hmotnostní tok chladiva
$\varepsilon_{COP} = 2,65\text{ [-]}$	- Coefficient of performance



Model	Dimensions, inches [mm]				Line Connection*		Air	Oil Ch	Gr. Wt.
	L	W	H	CH	Suction	Liquid	SCFM [m³/h]	Oz. [mL]	Lbs. [kg]
SIERRA01-0434Y3XA	16.44 [418]	13.0 [330]	8.8 [224]	7.93 [201]	3/8" S [9.53] S	1/4" S [6.35] S	258 [438]	9.8 [290]	33.5 [15.2]

* F = Flare, S = Solder, RF or RS = Rotolock with Flare or Solder Connections, C = Compression Fitting
 Factory charge: 20 PSIG [1.38 bar] Nitrogen – **MUST BE EVACUATED**

Obr. 29 Kondenzační jednotka firmy Masterflux [20]

Rozměry potrubí: - sací potrubí – 3/8"
 - výtlačné potrubí – 1/4"

4.1.2 CHLADIVO

Kondenzační jednotka pracuje s chladivem R134a. Chemický název chladiva je 1,1,1,2-tetrafluoretan. Jedná se o fluorované uhlovodíkové chladivo, které je nehořlavé a netoxické [22].

Vlastnosti plynu

Molekulární váha

Molekulová váha : 102.03 g/mol

Pevná fáze

Bod tání (1.013 barů) : -101 °C

Kapalná fáze

Hustota kapaliny (1.013 barů a 25 °C (37 °F)) : 1206 kg/m³

Bod varu (1.013 barů) : -26.55 °C

Výparné teplo (1.013 barů při bodu varu) : 215.9 kJ/kg

Tlak par (při 20 °C nebo 68 °F) : 5.7 bar

Tlak par (při 5 °C nebo 41 °F) : 3.5 bar

Tlak par (při 15 °C nebo 59 °F) : 4.9 bar

Tlak par (při 50 °C nebo 122 °F) : 13.2 bar

Kritický bod

Kritická teplota : 100.95 °C

Kritický tlak : 40.6 bar

Kritická hustota : 512 kg/m³

Trojný bod

Teplota trojného bodu : -103.3 °C

Plynná fáze

Hustota plynu (1.013 barů při bodu varu) : 5.28 kg/m³Hustota plynu (1.013 barů a 15 °C (59 °F)) : 4.25 kg/m³

Faktor stlačitelnosti (Z) (1.013 barů a 15 °C (59 °F)) : 1

Měrná tíha : 3.25

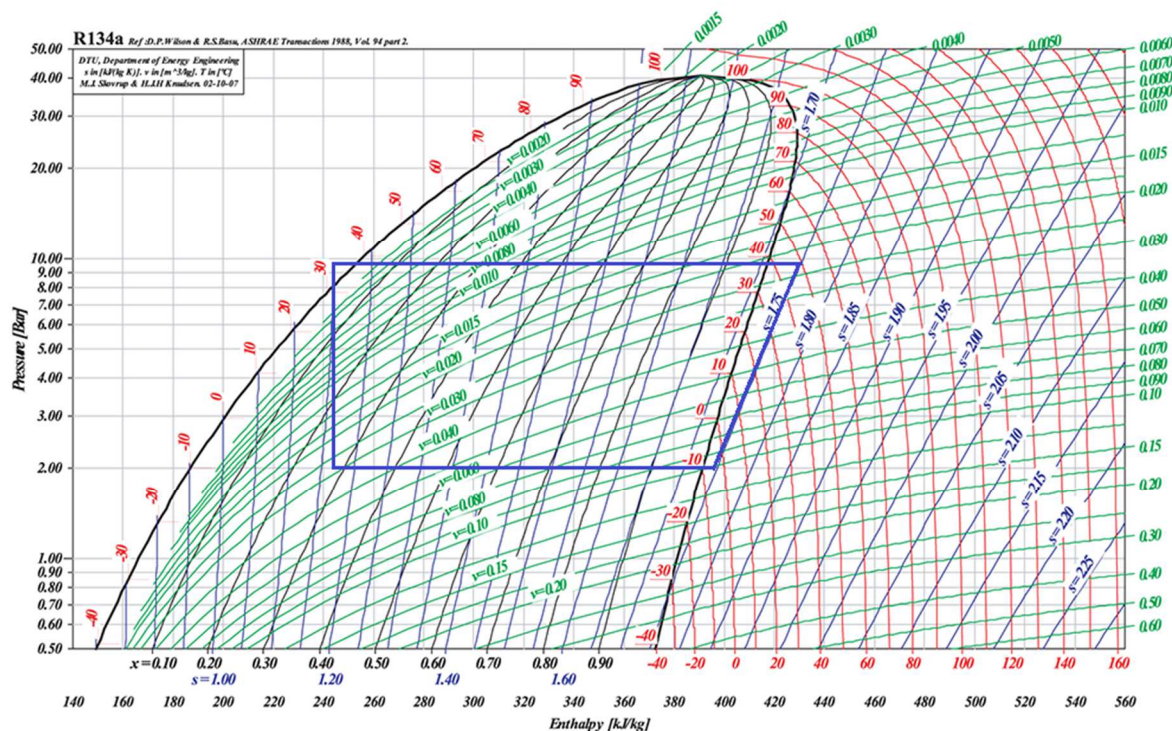
Měrný objem (1.013 barů a 15 °C (59 °F)) : 0.235 m³/kg

Měrné teplo při konstantním tlaku (Cp) (1.013 barů a 25 °C (37 °F)) : 0.08754 kJ/(mol.K)

Různé

Rozpustnost ve vodě (1 bar a 25 °C (77 °F)) : 0.21 vol/vol

Obr. 30 Vlastnosti chladiva R134a [23]



Obr. 31 Chladicí oběh v diagramu log p – h chladiva R134a [18]

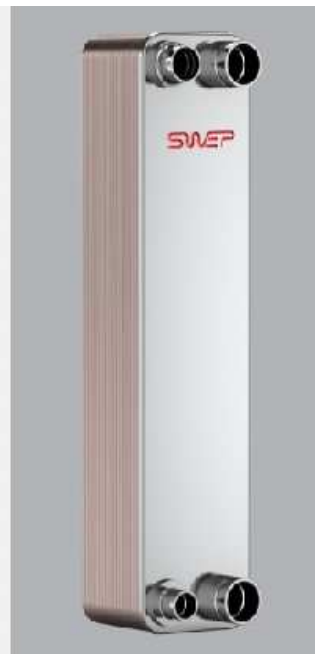
4.1.3 VÝPARNÍK

Ve výparníku dochází k odpařování chladiva a tímto k odebrání tepla z chlazené látky. Zde bude chlazená směs vody s PPG z 0 °C na -5 °C při vypařovací teplotě -10 °C. Jako suchý výparník bude použit deskový výměník.

Výpočet výparníku byl opět proveden za pomoci softwaru SWEP. Byl vybrán deskový výměník typ F 80×4.

Přehřátí chladiva zvoleno 5 °C.

F80x4	0,120	9,90	3,75	0	
DUTY REQUIREMENTS	Unit	Side 1			Side 2
Heat load	kW			0,5500	
Inlet vapor quality		0,294			
Outlet vapor quality		1,000			
Inlet temperature	°C	-8,34			0,00
Evaporation temperature (dew)	°C	-9,49			
Superheating	K	5,00			
Outlet temperature	°C	-4,49			-5,00
Flow rate	kg/s	3,680e-3			0,02903
- inlet vapor	kg/s	1,082e-3			
Fluid vaporized	kg/s	2,598e-3			
Max. pressure drop	kPa	50,0			50,0
PLATE HEAT EXCHANGER	Unit	Side 1			Side 2
Total heat transfer area	m ²			0,120	
Heat flux	kW/m ²			4,58	
Mean temperature difference	K			6,58	
H.T.C. (available/required)	W/m ² , °C			696/696	
Pressure drop -total*	kPa	9,90			3,75
- in ports	kPa	-1,13e-3			524e-6
Pressure drop in fluid distribution	kPa	252 - 388			
Operating pressure - outlet	kPa	205			
Number of channels		1			2
Number of plates				4	
Oversurfacing	%			0	
Fouling factor	m ² , °C/kW			-0,001	
Port diameter	mm	33,0/17,0 (up/down)			33,0
Recommended inlet connection diameter	mm	From 0,987 to 1,56			
Recommended outlet connection diameter	mm	From 4,28 to 9,58			
Reynolds number					31,63
Port velocity	m/s	0,430			0,0327



Obr. 32 Deskový výměník SWEP F80×4, Side 1-R134a, Side 2-voda+PPG30% [18]

Tabulka 6 Základní parametry výparníku

	Jednotka	R134a	Voda+PPG30%
Tepelný výkon	kW	0,55	
Teplota na vstupu	°C		0
Teplota na výstupu	°C	-9,49	-5
Střední log. Spád	°C	6,58	
Průtok	kg/s	0,00368	0,029
Teplosměnná plocha	m ²	0,12	
Celková tlaková ztráta	kPa	9,9	3,75
Počet desek	-	4	
Rychlost proudění	m/s	0,43	0,0327

4.1.4 EXPANZNÍ VENTIL

Tyto ventily tvoří v chladicím okruhu rozhraní mezi kondenzačním a vypařovacím tlakem. Jejich hlavní funkcí je řízení množství přiváděného chladiva do výparníku tak, aby se veškeré

kapalné chladivo ve výparníku odpařilo. V opačném případě, by mohl kompresor nasát část neodpařeného chladiva (mokrých par), což by mohlo vést k destrukci kompresoru. Expanzní ventil také řídí přehřátí par chladiva na výstupu z výparníku.

$$Q_n = Q_0 \cdot K_t \cdot K_{\Delta p} \quad (61)$$

Q_n [kW] - jmenovitý výkon ventilu

K_t [-] - opravný součinitel pro jiné teploty chladiva

$K_{\Delta p}$ [-] - opravný součinitel na rozdíl tlaku ve ventilu

teplota kapaliny před ventilem °C	R134a opravný součinitel K_t vypařovací teplota °C																teplota kapaliny před ventilem °C
	+30	+25	+20	+15	+10	+5	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30				
+60	1,22	1,25	1,27	1,30	1,33	1,36	1,40	1,44	1,48	1,75	2,08	2,46	2,94				+60
+55	1,14	1,16	1,18	1,21	1,23	1,26	1,29	1,33	1,36	1,60	1,90	2,25	2,68				+55
+50	1,07	1,08	1,10	1,13	1,15	1,17	1,20	1,23	1,26	1,48	1,76	2,07	2,46				+50
+45	1,00	1,02	1,04	1,06	1,08	1,10	1,12	1,15	1,17	1,38	1,63	1,92	2,28				+45
+40	0,93	0,96	0,98	0,99	1,01	1,03	1,05	1,08	1,10	1,29	1,52	1,79	2,12				+40
+35	0,90	0,91	0,92	0,94	0,96	0,97	0,99	1,01	1,03	1,21	1,43	1,68	1,99				+35
+30	0,85	0,86	0,88	0,89	0,91	0,92	0,94	0,96	0,98	1,14	1,35	1,58	1,87				+30
+25		0,82	0,83	0,85	0,86	0,87	0,89	0,91	0,92	1,08	1,27	1,49	1,76				+25
+20			0,80	0,81	0,82	0,83	0,85	0,89	0,88	1,02	1,21	1,41	1,67				+20
+15				0,77	0,78	0,79	0,81	0,82	0,84	0,97	1,15	1,34	1,58				+15
+10					0,75	0,76	0,77	0,78	0,80	0,93	1,09	1,28	1,51				+10
+5						0,73	0,74	0,75	0,76	0,89	1,04	1,22	1,44				+5
0							0,71	0,72	0,73	0,85	1,00	1,17	1,37				0
-5								0,69	0,70	0,82	0,96	1,12	1,31				-5
-10									0,68	0,79	0,92	1,07	1,26				-10
opravný součinitel $K_{\Delta p}$																	
Δp (bar)	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	Δp (bar)
$K_{\Delta p}$	3,50	2,48	2,02	1,75	1,57	1,43	1,32	1,24	1,17	1,11	1,06	1,01	0,97	0,94	0,90	0,88	$K_{\Delta p}$
Δp (bar)	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12	13	14	15	16	17	18	19	20	Δp (bar)
$K_{\Delta p}$	0,85	0,83	0,80	0,78	0,76	0,75	0,73	0,72	0,69	0,66	0,64	0,62	0,60	0,58	0,57	0,55	$K_{\Delta p}$

Obr. 33 Opravné součinitele [25]

Teplota kapaliny před ventilem je rovna teplotě kondenzační minus hodnotě podchlazení tedy 33 °C.

$$K_t = 0,98$$

Rozdíl tlaku ve ventilu je roven tlaku kondenzačnímu minus tlaku výparnému minus ztrátám v potrubí, ve výparníku, průhledítku, filtru apod. [22]

$$\Delta p = p_k - p_0 - p_z \quad (62)$$

$$p_k = 9,63 \text{ bar} \quad - \text{ kondenzační tlak}$$

$$p_0 = 2,01 \text{ bar} \quad - \text{ vypařovací tlak}$$

$$p_z = 0,5 \text{ bar} \quad - \text{ tlaková ztráta}$$

$$\Delta p = 9,63 - 2,01 - 0,5$$

$$\Delta p = 7,12 \text{ bar}$$

$$K_{\Delta p} = 0,94$$

Dosazení do rovnice 61:

$$Q_n = 0,551 \cdot 0,98 \cdot 0,94$$

$$Q_n = 0,508 \text{ kW}$$



TX 3

Obr. 34 Termostatický expanzní ventil [25]

Byl vybrán expanzní ventil firmy ALCO Controls TX3-M11 s MOP s vnitřním vyrovnáním tlaku. Nejvyšší výkon ventilu při daných podmínkách zjištěný dle softwaru firmy Alco Controls je 0,6kW. Funkce MOP (maximum operating pressure) omezuje maximální hodnotu tlaku ve výparníku a tím chrání motor kompresoru před přetížením. Výhodou tohoto ventilu je možnost nastavení hodnoty přehřátí par chladiva.

4.2 DALŠÍ KOMPONENTY CHLADICÍHO OKRUHU

4.2.1 FILTRDEHYDRÁTOR

Tyto filtry odstraňují ze systému pevné částice, které se mohli do chladiva dostat při montáži i při provozu zařízení, a také vlhkost.

Byl vybrán filtrdehydrátor firmy Alco Controls FDB-032S. Připojení pájecí 1/4 ", hermetické provedení, ocelový plášť, vhodné pro všechna chladiva i maziva vyjma hořlavých a výbušných, nejvyšší provozní přetlak 4,3 MPa. [25]



Obr. 36 Průhledítka [25]



Obr. 35 Filtrdehydrátor [25]

4.2.2 PRŮHLEDÍTKO

Průhledítka umožňuje provádět vizuální kontrolu množství paliva za provozu zařízení. Při nedostatečném průtoku kapaliny jsou v průhledítce jasně viditelné bublinky páry signalizující potřebu doplnění chladiva. Pod sklíčkem průhledítka se také nachází hygroskopická látka, která

mění barvu v závislosti na obsahu vlhkosti v chladivu. Bylo vybráno průhledítko Alco Controls AMI-1 TT2.[21] Připojení pájecí 1/4", citlivý ukazatel s ověřenou čtyřbarevnou stupnicí, nejvyšší provozní přetlak 3,1 MPa.

4.2.3 SOLENOID

Solenoid je elektromagnetický ventil sloužící k uzavírání průtoku chladiva. Používá se hlavně pro uzavření přístupu chladiva do výparníku při vypnutí kompresoru.

Byl vybrán elektromagnetický ventil Parker R10E22M. Ovládací napětí 12V, připojení pájecí 1/4".



Obr. 37 Solenoid Parker [27]

4.2.4 PRESOSTAT



Jednoduchý presostat PS1



Kombinovaný presostat PS2

Obr. 38 Presostat Alco Controls [25]

Presostaty jsou schopné na základě měření tlaků ovládat činnost nějakého zařízení, obvykle motoru kompresoru nebo ventilátoru. [21]

Byl vybrán kombinovaný presostat Alco Controls PS2-A7L. Vlastnosti presostatu: stavitelný tlakový rozsah, automatický nebo ruční reset, ukazatel nastavení se stupnicí v barech a psi... Připojení pájecí 1... Připojení pájecí 1/4". [25]

4.2.5 SBĚRAČ CHLADIVA

Byl vybrán sběrač chladiva EFM 3,4 o objemu 3,3 litrů



Obr. 39 Sběrač chladiva Schiessel [28]

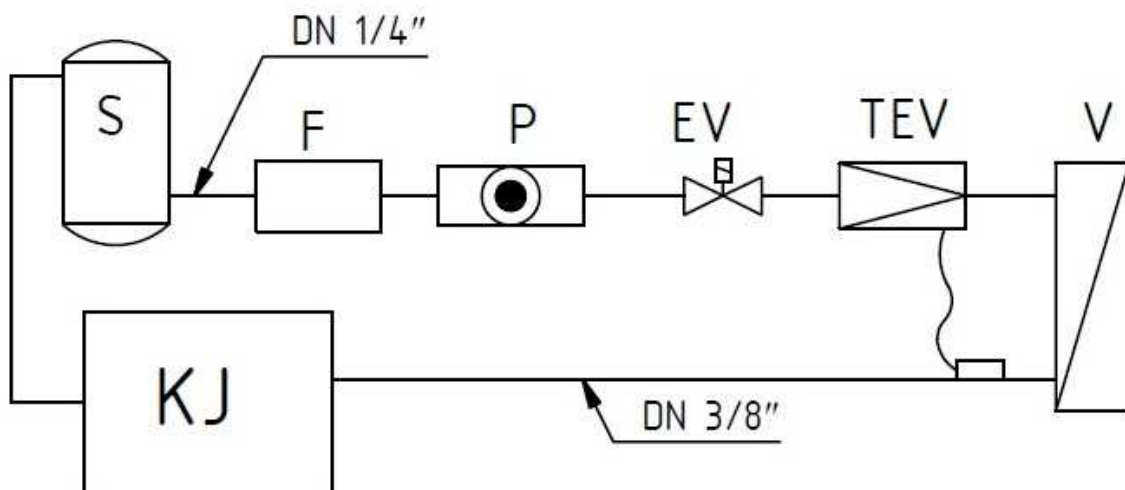
4.2.6 TERMOSTAT PRO AKUMULAČNÍ NÁDRŽ



Byl vybrán digitální LED termostat 10A-12VDC. Rozsah měření od -50 do +110 °C, přesnost měření 0,1 °C. [24]

Obr. 40 Termostat [24]

4.3 SCHÉMA CHLADICÍHO OKRUHU



Obr. 41 Schéma chladicího okruhu, KJ – kondenzační jednotka, S – sběrač chladiva, F – filtrdehydrátor, P – průhledítko, EV – elektromagnetický ventil (solenoid), TEV – expanzní ventil, V – výparník

5 NÁVRH FOTOVOLTAICKÉHO SYSTÉMU

Všechny komponenty pivovaru byly vybírány tak, aby mohli být napájeni fotovoltaickými panely.

V první fázi je nutné určit potřebné množství vyráběného chladu. Největší tepelnou ztrátu má dle výpočtu ležácký prostor, proto bude fotovoltaický panel navržen na tento proces. Spolu s tepelnou ztrátou ležáckého prostoru je nutné zahrnout do výpočtu ztrátu akumulční nádrže a připočítat tepelné ztráty potrubím apod. Tuto ztrátu volím 15 % z celkové ztráty.

$$\dot{Q}_{potř} = (\dot{Q}_{an} + \dot{Q}_{c,zr}) \cdot 1,15 = (134 + 25,4) \cdot 1,15 \quad (63)$$

$$\dot{Q}_{potř} = 183,3 \text{ W}$$

Chladicí zařízení tedy musí dodávat do systému minimálně 183,3 W (J/s) chladu a tedy 15,837 MJ za den. Z chladicího výkonu chladiče vychází, že denní spotřebu chladivové směsi je schopen chladič nachladit za dobu:

$$\tau_{ch} = \frac{\dot{Q}_{potř} \cdot 24}{Q_0} = \frac{183,3 \cdot 24}{551} \quad (64)$$

$$\tau_{ch} = 7,98 \text{ h}$$

Z příkonu kompresoru určíme denní spotřebu elektrické energie kompresoru.

$$Q_{kden} = P_k \cdot \tau_{ch} = 208 \cdot 7,98 \quad (65)$$

$$Q_{kden} = 1,66 \text{ kWh}$$

Dalšími součástmi okruhu, které je nutné napájet jsou ventilátor kondenzátoru a zracího prostoru, regulátor, cirkulační čerpadla, termostaty a solenoid.

Celkový příkon všech dalších elektrických komponentů:

$$P_{osz} = 137 \text{ W}$$

Budeme-li předpokládat, že tato zařízení budou v chodu společně tedy 7,98 hodin denně, jejich spotřeba bude:

$$Q_{osz} = P_{osz} \cdot \tau_{ch} = 137 \cdot 7,98 \quad (66)$$

$$Q_{osz} = 1,094 \text{ kWh}$$

Celková denní spotřeba elektrické energie pivovaru:

$$Q_{cp} = Q_{kden} + Q_{osz} = 1,66 + 1,094 \quad (67)$$

$$Q_{cp} = 2,754 \text{ kWh}$$

Na stránkách projektu PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) [29], je průměrná hodnota ozáření 1m² panelu pro oblast Brna 0,95kWh/m². Tato hodnota odpovídá

měsíci prosinci, kdy je ozáření nejmenší. Počítáme-li s 13% účinností fotovoltaických panelů, potřebný povrch panelu bude:

$$S_p = \frac{Q_{cp}}{0,95 \cdot 0,13} = \frac{2,754}{0,95 \cdot 0,13} \quad (68)$$

$$S_p = 22,3 \text{ m}^2$$

Pokud bychom byli schopni vychlazovat prostory pivovaru venkovním vzduchem v zimních měsících, potřebná plocha panelu by se výrazně snížila.

Budeme-li uvažovat chlazení pouze v období duben – říjen, kdy nejnižší sluneční zisky jsou v říjnu a to 2,75 kWh/m², vychází plocha panelu:

$$S_{plm} = \frac{Q_{cp}}{2,75 \cdot 0,13} = \frac{2,754}{2,75 \cdot 0,13} \quad (69)$$

$$S_{plm} = 7,7 \text{ m}^2$$

Fixed system: inclination=35°, orientation=0°				
Month	E_d	E_m	H_d	H_m
Jan	3.10	96.0	1.22	37.8
Feb	5.39	151	2.16	60.5
Mar	9.17	284	3.81	118
Apr	12.10	362	5.24	157
May	11.80	366	5.27	163
Jun	12.00	359	5.41	162
Jul	12.10	375	5.53	171
Aug	11.50	357	5.21	162
Sep	9.41	282	4.13	124
Oct	6.52	202	2.75	85.4
Nov	3.53	106	1.44	43.1
Dec	2.39	74.1	0.95	29.3
Yearly average	8.26	251	3.60	110
Total for year		3020		1310

E_d : Average daily electricity production from the given system (kWh)

E_m : Average monthly electricity production from the given system (kWh)

H_d : Average daily sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²)

H_m : Average sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²)

Obr. 42 Solární hodnoty pro Brno [29]

ZÁVĚR

V úvodu diplomové práce se zabývám výčtem surovin potřebných k výrobě piva následovaný výčtem druhů vyráběných piv.

V další části diplomové práce popisuji postup výroby piva plzeňského typu od máčení sladu, až po závěrečné zraní piva následovaný stručným výčtem možností strojního chlazení.

V hlavní části práce se zabývám návrhem spilky a ležáckého prostoru pivovaru. Spilka byla navržena jako otevřená dvouplášťová nádoba. V ležáckém prostoru pivovaru pivo bude dozrávat v KEG sudu a tento prostor bude vychlazován pomocí automobilového chladiče s ventilátorem. Jako chladič byl zvolen jednostupňový chladicí okruh s kompresorem, kde ve výparníku chladicího okruhu dochází k ochlazování směsi propylen-glykolu a vody, kterou jsou dále chlazeny jednotlivé výrobní fáze vaření piva. V úplném závěru je zhodnocena energetická náročnost tohoto pivovaru a navržena velikost fotovoltaického panelu.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] MACHAČ, František. *Uvařte si pivo doma!: příručka pro začátečníky a mírně pokročilé*. 1. české vyd. Praha: Svojtka, 2014, 95 s. ISBN 978-80-256-1172.
- [2] CHLÁDEK, Ladislav. *Pivovarnictví*. 1. vyd. Praha: Grada, 2007, 207 s., 8 s. barev. obr. příl. Řemesla, tradice, technika. ISBN 978-802-4716-169.
- [3] BASAŘOVÁ, Gabriela. *Pivovarství: teorie a praxe výroby piva*. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2010, 863 s. ISBN 978-80-7080-734-7.
- [4] SLADOVNA, spol. s.r.o. *Sladovna Bruntál* [online]. Bruntál, 2015 [cit. 2015-04-19]. Dostupné z: <http://www.sladovnabruntal.cz/>
- [5] EMIL BUREŠ HOPSERVIS S.R.O. *Hopservis: Chmel světové kvality* [online]. Holedeč, 2013 [cit. 2015-04-19]. Dostupné z: <http://www.hopservis.cz/>
- [6] *České pivo - České zlato* [online]. 2015 [cit. 2015-04-20]. Dostupné z: <http://ceskepivo-ceskezlato.cz/piva.php?on=opivu&pg=opivu18>
- [7] ALFA LAVAL SPOL. S.R.O. *Alfa Laval Česká republika* [online]. 2015 [cit. 2015-04-26]. Dostupné z: <http://local.alfalaval.com/cs-cz/Pages/default.aspx>
- [8] SCHEUFLER, Pavel a Rudolf BRUNER-DVOŘÁK. *REPORTÉR MAGAZÍN. Ledaři v Praze* [online]. 2015 [cit. 2015-04-27]. Dostupné z: <http://reportermagazin.cz/led-pro-pivo/>
- [9] ŠKORPÍK, Jiří. *Tepelné oběhy a jejich realizace, Transformační technologie*, 2006-11, [last updated 2013-08]. Brno: Jiří Škorpík, [online] pokračující zdroj, ISSN 1804-8293. Dostupné z <http://www.transformacni-technologie.cz/tepelne-obehy-a-jejich-realizace.html>.
- [10] HONKA, P. *Modulární absorpční oběh*. Brno, 2011. 63 s., 4 s. příloh. Diplomová práce na Vysokém učení technickém v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí diplomové práce Doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.
- [11] HOCH, Václav. *Chladicí technika*. Vyd. 1. Brno: VUT, 1992, 183 s. Učební texty vysokých škol (Vysoké učení technické v Brně). ISBN 80-214-0412-4.
- [12] DVOŘÁK, Zdeněk. *Základy chladicí techniky*. 1. vyd. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 1984, 247 s.
- [13] REICHL, Jaroslav a Martin VŠETIČKA. *Encyklopedie fyziky* [online]. 2015 [cit. 2015-05-01]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/>
- [14] *The Engineering Toolbox: Resources, Tools and Basic Information for Engineering and Design of Technical Applications!* [online]. 2015 [cit. 2015-05-02]. Dostupné z: http://www.engineeringtoolbox.com/air-properties-d_156.html

- [15] INCROPERA, Frank P. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer: WITH IHT/FEHT 3.0 CD-ROM with User Guide*. 6. vyd. s.l.: John Wiley, 2007. ISBN 978-047-0055-540.
- [16] AMERICAN SOCIETY OF HEATING, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers a Ross MONTGOMERY. 2010. *ASHRAE Handbook: Refrigeration*. SI edition. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 1 sv. (různé stránkování). ISBN 978-1-933742-82-3.
- [17] JÍCHA, Miroslav. 2001. *Přenos tepla a látky*. 1. vyd. Brno: CERM, 160 s. ISBN 80-214-2029-4. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství.
- [18] SWEP INTERNATIONAL AB. *SWEP* [online]. 2015 [cit. 2015-05-19]. Dostupné z: <http://www.swep.net/cz/Pages/default.aspx>
- [19] Auto Alku [online]. [cit. 2016-04-27]. Dostupné z: <http://www.autoalku.cz/>
- [20] Masterflux: The Power of Purple [online]. [cit. 2016-05-22]. Dostupné z: <http://www.masterflux.com/>
- [21] Chladicí a klimatizační technika. Praha: Svaz chladicí a klimatizační techniky, 2012. Učební texty Svazu CHKT.
- [22] HAVLÍČEK, J. Chladič vody pro stropní chlazení. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 62 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Jiří Hejčík, Ph.D.
- [23] Air Liquide: Creative Oxygen [online]. [cit. 2016-05-23]. Dostupné z: <http://encyclopedia.airliquide.com/encyclopedia.asp?GasID=141&LanguageID=17&CountryID=33#GeneralData>
- [24] HomeSolar [online]. [cit. 2016-05-23]. Dostupné z: <http://eshop.homesolar.cz/9/427/solarni-obehove-cerpadlo-hs25-inox.html>
- [25] Alfaco: Díly pro chladicí techniku, tepelná čerpadla a klimatizaci [online]. [cit. 2016-05-24]. Dostupné z: <http://www.alfaco.cz/>
- [26] Rolf: Antikor [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: <http://www.rolf.cz/>
- [27] Parker [online]. [cit. 2016-05-26]. Dostupné z: <http://www.parker.cz/produkty/pneumatika/solenoidove-ventily/>
- [28] Schiessl [online]. [cit. 2016-05-26]. Dostupné z: <http://www.schiessl.cz/stranka-sberace-a-odlučovace-871>
- [29] Photovoltaic Geographical Information System [online]. [cit. 2016-05-27]. Dostupné z: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

\dot{Q}_{dno}	[W]	tepelná zátěž dnem spilky
\dot{Q}_{mkv}	[W]	měrný vývin tepla při kvašení mladiny
\dot{Q}_{kv}	[W]	tepelný výkon vyvíjený při kvašení
t_{zr}	[°C]	teplota zrání piva
τ_{zr}	[h]	doba zrání piva
Δt_{pl}	[°C]	rozdíl teplot mezi povrchem pláště spilky a okolní teplotou
D_{sp}	[m]	vnější průměr spilky
d_{sp}	[m]	vnitřní průměr spilky
g	[m·s ⁻²]	gravitační zrychlení u povrchu země
Gr	[-]	grashofovo číslo
L_{hl}	[m]	charakteristický rozměr hladiny
L_{sp}	[m]	výška spilky
Nu	[-]	nusseltovo číslo
O_{hl}	[m]	obvod hladiny
Pr	[-]	prandtlovo číslo
$\dot{Q}_{\text{c,hl}}$	[W]	celková tepelná zátěž hladiny
$\dot{Q}_{\text{c,pl}}$	[W]	celková tepelná zátěž pláště spilky
$\dot{Q}_{\text{c,sp}}$	[W]	celková tepelná zátěž spilky
\dot{Q}_{khl}	[W]	tepelná zátěž hladiny konvekcí
\dot{q}_{kpl}	[W·m ⁻²]	měrná tepelná zátěž pláště spilky konvekcí
\dot{Q}_{kpl}	[W]	tepelná zátěž pláště spilky konvekcí
\dot{Q}_{rhl}	[W]	tepelná zátěž pláště spilky radiací
\dot{Q}_{rpl}	[W]	tepelná zátěž pláště spilky radiací
Ra	[-]	rayleighovo číslo
S_{hl}	[m ²]	povrch hladiny
S_{pl}	[m ²]	povrch obvodového pláště spilky
t_{chhl}	[°C]	charakteristická teplota mezi hladinou mladiny a okolním vzduchem
t_{chpl}	[°C]	charakteristická teplota mezi povrchem pláště spilky a okolím
t_{inchl}	[°C]	teplota chladiwa přiváděného do spilky
t_{ml}	[°C]	teplota kvasic mladiny
t_{ok}	[°C]	okolní teplota v místnosti spilky

t_{ok}	[K]	okolní teplota v místnosti
t_{outchl}	[°C]	výstupní teplota chladiva ze spilky
t_{schl}	[°C]	střední teplota chladicí kapaliny uvnitř spilky
t_{ws}	[K]	teplota povrchu pláště spilky
V_{minSP}	[l]	minimální objem spilky
V_{ml}	[l]	objem mladiny zvětšený o odpar
V_p	[l]	požadovaný výstupní objem piva
α_{hl}	[W·m ² ·K]	součinitel přestupu tepla u hladiny mladiny
α_{pl}	[W·K ⁻¹ ·m ⁻²]	součinitel přestupu tepla mezi pláštěm spilky a okolním vzduchem
β	[K ⁻¹]	součinitel teplotní roztažnosti
ϵ_{on}	[-]	emisivita nerezové oceli
λ	[W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	součinitel tepelné vodivosti
ν	[m ² ·s]	kinematická viskozita
σ	[W·m ⁻² ·K ⁻⁴]	Stefanova - boltzmannova konstanta
S_{dna}	[m ²]	povrch dna spilky
t_{podl}	[°C]	teplota podlahy
δ_{izdno}	[m]	šířka izolace u dna spilky
λ_{iz}	[W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	součinitel tepelné vodivosti izolace
H_{zr}	[m]	výška zrací bedny
B_{zr}	[m]	šířka zrací bedny
L_{zr}	[m]	délka zrací bedny
S_{oszr}	[m ²]	povrch obvodových stěn
τ_{zr}	[h]	doba zrání piva
t_{zr}	[°C]	teplota zrání piva
S_{vzr}	[m ²]	povrch víka zrací bedny
δ_{izzr}	[m]	tloušťka izolace zrací bedny
δ_{dr}	[m]	tloušťka dřevěného pobití
t_{wout}	[°C]	teplota povrchu svislé stěny zrací bedny
\dot{Q}_{zrs}	[W]	tepelný tok svislými stěnami – konvekce, vedení
α_{outzr}	[W·m ⁻² ·K ⁻¹]	součinitel přestupu tepla na vnější straně svislé stěny zracího prostoru
α_{inzr}	[W·m ⁻² ·K ⁻¹]	součinitel přestupu tepla na vnitřní straně svislé stěny zracího pros.
t_{chss}	[°C]	charakteristická teplota – svislá stěna

ϵ_{dr}	[-]	emisivita dřeva
T_{wout}	[K]	povrchová teplota vnější svislé stěny zrací bedny
$\dot{Q}_{c,ss}$	[W]	celkový tepelný tok svislými stěnami zrací bedny
\dot{Q}_{zrvk}	[W]	tepelný tok víkem – konvekce, vedení
α_{outv}	[W·m ⁻² ·K ⁻¹]	součinitel přestupu tepla na vnější straně víka zracího prostoru
α_{inv}	[W·m ⁻² ·K ⁻¹]	součinitel přestupu tepla na vnitřní straně víka zracího prostoru
t_{woutv}	[°C]	teplota povrchu na vnější straně víka
\dot{Q}_{zrsr}	[W]	tepelná zátěž radiací
O_v	[m]	obvod víka
L_v	[m]	charakteristický rozměr víka
t_{chv}	[°C]	charakteristická teplota víka
\dot{Q}_{zrvr}	[W]	tepelná zátěž víka radiací
T_{woutv}	[K]	teplota vnějšího povrchu víka
\dot{Q}_{zrv}	[W]	celkový tepelný tok víkem bedny
α_{zrp}	[W·m ⁻² ·K ⁻¹]	součinitel přestupu tepla u dna zrací bedny
\dot{Q}_{zro}	[W]	celková tepelná zátěž zrací bedny dnem
m_{ml}	[kg]	hmotnost chlazené mladiny
ρ_{ml}	[kg·m ⁻³]	hustota mladiny
t_{mlvs}	[°C]	vstupní teplota mladiny
t_{mlzchl}	[°C]	teplota mladiny po zchlazení
P_{DCM}	[W]	příkon stejnosměrného motoru ventilátoru
I_m	[A]	napájecí proud motoru ventilátoru
U_m	[V]	napájecí napětí motoru ventilátoru
t_k	[°C]	kondenzační teplota
t_{maxo}	[°C]	maximální uvažovaná teplota okolí
t_{vyp}	[°C]	vypařovací teplota
\dot{Q}_0	[W]	chladicí výkon
P_r	[W]	příkon kompresoru
U_k	[V]	napětí na svorkách kompresoru
I_k	[A]	napájecí proud kompresoru
m_{refr}	[kg/s]	hmotnostní tok chladiva
ϵ_{cop}	[-]	Coefficient of performance

\dot{Q}_n	[W]	jmenovitý výkon ventilu
k_t	[-]	opravný součinitel pro jiné teploty chladiva
$k_{\Delta p}$	[-]	opravný součinitel na rozdíl tlaku
Δp	[bar]	rozdíl tlaku ve ventilu
p_k	[bar]	kondenzační tlak
p_z	[bar]	tlaková ztráta
$\dot{Q}_{potř}$	[W]	potřebný chladicí výkon dodávaný chladivem do pivovaru
τ_{ch}	[hod]	doba chlazení za den
Q_{kden}	[kWh]	denní spotřeba elektrické energie kompresorem
P_{osz}	[W]	příkon všech dalších elektro komponent pivovaru
Q_{osz}	[kWh]	denní spotřeba elektrické energie dalších el. Zařízení
Q_{cp}	[kWh]	celková denní spotřeba el.energie pivovaru
S_p	[m ²]	minimální plocha fotovoltického panelu